

---

# NeatWork: Guía del usuario

---

Un programa de apoyo para el diseño de redes de distribución de agua por gravedad.

**Desarrollado por Agua Para la Vida y LOGILAB para entrega gratuita a organizaciones sin fines de lucro dedicadas al abastecimiento de agua**



Agua Para la Vida: <http://bldgsci07.ced.berkeley.edu/aplv/>

Logilab: <http://ecolu-info.unige.ch/logilab/>

# Índice

<b>A – Redes de distribución de agua por gravedad</b>	<b>4</b>
<b>1. La gran innovación de NeatWork</b>	<b>4</b>
Para qué tipo de redes de distribución	4
El desafío de las redes de distribución impulsadas por gravedad	4
Diseño para minimizar costo de cañerías	5
Costo mínimo de cañerías vs. flujo uniforme en las llaves	5
<b>2. Agua Para La Vida</b>	<b>6</b>
<b>3. Agradecimientos</b>	<b>6</b>
<b>B – Lo fundamental de NeatWork</b>	<b>7</b>
<b>1. Redes de Distribución Impulsadas por Gravedad</b>	<b>7</b>
<b>2. Características clave para el diseño y la simulación</b>	<b>8</b>
Capacidad y uniformidad del sistema.	8
Capacidad	8
Uniformidad	8
Las herramientas de Diseño y Simulación	9
El módulo de optimización	9
El módulo de simulación	9
Entradas y salidas en los dos módulos:	10
Módulo de diseño	10
Módulo de simulación	11
<b>C - Para familiarizarse con NeatWork</b>	<b>13</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>13</b>
Procedimiento de instalación	13
Sistema de archivos	14
Unidades de medida	15
Ejemplo ilustrativo	15
<b>2. Breve tutorial por menús</b>	<b>16</b>
Iniciar NeatWork	16
Menú “Base de datos”	16
Para editar las bases de datos	17
Para almacenar las bases de datos	18
Menú “Fichero”	19
Sub-menú “Nueva topografía”	19
Sub-menú “Abrir Topografía”	26
Sub-menú “Abrir diseño”	27
Submenús “Guardar” y “Guardar como”	29
Submenús “Cerrar” y “Cerrar todos”	29
Submenús “Eliminar topografía” y “Eliminar diseño”	29
Menú “Topografía”	29
Submenú “Verificar rápidamente”	29
Submenú “Resumen de la red”	30
Submenú “Reporte en HTML”	30
Submenú “Iniciar Diseño”	32

<b>Menú “Diseño”</b>	<b>37</b>
Extracto de la topografía	37
Reporte en HTML	37
Parámetros de diseño	39
<b>Simulación</b>	<b>39</b>
Resultado de la simulación	41
<b><i>D – Para hacer que funcione</i></b>	<b>44</b>
<b><i>1. Iniciar y mejorar el diseño</i></b>	<b>44</b>
Cree su base de datos propia	44
Para iniciar un diseño nuevo	44
Para verificar la performance	45
Para mejorar el diseño	46
Use la herramienta de “Iniciar Diseño”	46
Mejoramiento manual	47
<b><i>2. Características avanzadas</i></b>	<b>47</b>
Sistema de archivos	47
Para ampliar un diseño	48
Circuitos en anillo	48
Límites del presupuesto	48
Calidad de servicio y factor de carga	49
Costo de las tuberías y uniformidad de la descarga	52
Constante de la llave	54
Definición	54
Determinación del coeficiente de la llave	54
Cómo trabajar con distintos tipos de llaves	55
<b><i>3. Preguntas planteadas frecuentemente</i></b>	<b>56</b>
<b><i>E – Apéndice Técnico</i></b>	<b>58</b>
<b><i>1. Tuberías</i></b>	<b>58</b>
Fórmulas de fricción para tuberías en redes de distribución.	58
<b><i>2. Llaves</i></b>	<b>61</b>
Introducción y definición	61
Fórmula para determinar el coeficiente de la llave	62
Desarrollo de la fórmula para diversas características de las llaves	63
<b><i>3. Orificios</i></b>	<b>64</b>
<b><i>4. Simulación de caudales</i></b>	<b>65</b>
<b><i>5. Diseño óptimo</i></b>	<b>66</b>

# **A – Redes de distribución de agua por gravedad**

## **1. La gran innovación de NeatWork**

### **Para qué tipo de redes de distribución**

NeatWork es un programa de computador especialmente preparado para el diseño de redes de distribución de agua en zonas rurales impulsadas totalmente por gravedad. Estas redes deben poder adaptarse a dos condiciones:

- a) Las diferencias de cota entre el estanque de almacenamiento y las llaves pueden ser pequeñas (el mínimo práctico puede ser de apenas 2 metros), y
- b) En general, los consumidores no requieren presión de agua en la descarga de sus llaves.

### **El desafío de las redes de distribución impulsadas por gravedad**

En el caso de redes de distribución impulsadas por gravedad, los flujos en cada llave están determinados por I) el roce en las cañerías, y II) el roce en los orificios (cerca de las llaves) y en las llaves mismas. Este roce en los orificios y en las llaves tiene un efecto local, mientras que el roce en las cañerías puede afectar a varias llaves simultáneamente.

NeatWork aprovecha la ley del roce para diseñar redes de distribución que logran un buen compromiso entre los dos criterios siguientes:

- a) El costo del material debe ser el mínimo posible.
- b) El flujo en cada llave debe variar dentro de un rango aceptable, independientemente de cuántas y cuáles llaves de la red estén abiertas.

Si sólo se requiriera satisfacer el criterio b) uno podría prescribir los flujos en cada llave, sin importar cuántas o cuáles llaves estén abiertas; bastaría para ello sobredimensionar la red usando cañerías de diámetros tan grandes que prácticamente no tengan roce, y regular los flujos sólo con orificios apropiados. Sin embargo, el costo de las cañerías es casi siempre un factor limitante para el número de sistemas que se pueden construir de una vez.

Por eso NeatWork logra también regular los flujos en las llaves calculando el roce en las cañerías. Esto favorece el uso de cañerías de diámetros pequeños y reduce drásticamente el costo de los materiales. Desgraciadamente, el incorporar el roce en las cañerías implica vincular los flujos en las llaves y aunque se torna imposible lograr un flujo invariante en cada llave tal invarianza estricta no es encesaria; basta que las variaciones estén bien acotadas y tales cotas sean definidas por el diseñador. NeatWork le entrega al usuario las herramientas para lograr un compromiso satisfactorio entre los requisitos a) y b).

## **Diseño para minimizar costo de cañerías**

NeatWork diseña con un costo mínimo de materiales, consistente en un amplio conjunto de limitaciones operativas y restricciones de los materiales disponibles, de modo que dichas limitaciones y restricciones puedan ser especificadas por el diseñador. Sólo los últimos pasos necesarios para avanzar desde las cercanías del costo mínimo al mínimo efectivo requieren algo de experiencia previa de parte del diseñador. Esto se logra de la siguiente forma:

- a) Primero, entregarle al diseñador una solución óptima (de mínimo costo), que respeta todas las restricciones, pero sólo en un sentido estadístico.
- b) Segundo, permitirle al diseñador probar esa solución simulando flujos de la red dentro de un amplio rango de escenarios operacionales, cuyos resultados son procesados estadísticamente.

Con esto NeatWork permite que el diseñador modifique el diseño propuesto en cualquier detalle que parezca deficiente y también que introduzca restricciones adicionales convenientes (tales como la redundancia agregada por circuitos en anillo). El diseño modificado puede ser probado de la misma manera. Los pasos para refinar la solución cercana al óptimo se facilitan de manera automática usando un parámetro llamado calidad del servicio, o en forma manual, con ayuda de un diagrama de influencia. Esta simulación también puede ser aplicada a cualquier diseño ya existente.

La fase inicial de optimización se ejecuta sólo para redes arborescentes. Después se pueden agregar los anillos que se quiera pues la simulación los maneja sin dificultad. Sin embargo las ventajas prácticas de los anillos, (tales como las características de seguridad de servicio), deben ser juzgadas por el diseñador en relación con los recargos de costo, pues estos no pueden ser tratados en el esquema de minimización de costos.

## **Costo mínimo de cañerías vs. flujo uniforme en las llaves**

Generalmente hay conflicto entre las exigencias de costo mínimo de las cañerías, por un lado, y lograr flujos de salida de las llaves suficientemente uniformes cuando el número máximo de llaves abiertas simultáneamente es una fracción variable del total disponible. En términos cualitativos el asunto es claro: la altura piezométrica total disponible entre el estanque y una llave dada es fija. Mientras mayor sea la pérdida de carga en la llave menor deberá ser la pérdida por roce en la red de cañerías. Por tanto, la fracción de la pérdida de altura total debida a la apertura de una llave dada que afecta el flujo a través de las cañerías que sirven a más de una llave es relativamente menor. Esta menor pérdida disminuye la variabilidad del flujo de cualquiera de las llaves, pero para lograr esta disminución de la pérdida en la parte común de la red uno debe usar cañerías de mayor diámetro en dicha parte común, y tales cañerías son más caras.

Esto se demuestra cuantitativamente en el apéndice. NeatWork resuelve este conflicto llevando a cabo el balance correspondiente de manera explícita y fácilmente accesible al diseñador.

## 2. Agua Para La Vida

Agua Para La Vida es una O.N.G con presencia en Nicaragua, los Estados Unidos y Francia. Su objetivo es ayudar al desarrollo y a la protección cooperativos de los sistemas de agua potable en las comunidades rurales. Con este fin, Agua Para La Vida

- Mantiene un centro piloto en Nicaragua,
- Difunde herramientas técnicas tales como NeatWork que se desarrollan con propósitos técnicos y pedagógicos.
- El centro piloto, que es operado casi completamente por residentes nicaragüenses, cumple varias funciones. Lleva a cabo proyectos de agua potable contra pedido de las aldeas. Promueve la protección de los suelos que permiten la recarga de las fuentes naturales de las que depende el suministro de agua. Apoya la capacitación en higiene y el monitoreo de la salud (especialmente de los bebés y niños), puesto que ambos están ligados a maximizar los beneficios del agua limpia. El centro ayuda también a su propia réplica operando una pequeña escuela técnica que forma técnicos en proyectos de agua, mediante un curriculum de dos a tres años de estudio y trabajo, ofrecido a jóvenes seleccionados entre los residentes del campo.

Algunos ingenieros y científicos que trabajan como voluntarios en Europa y Estados Unidos, y también en Nicaragua, preparan materiales técnicos especialmente apropiados para técnicos e ingenieros dedicados a actividades similares a las de APLV en cualquier parte del mundo. El trabajo en Nicaragua sirve como campo experimental tanto para las técnicas de diseño apropiado como para los instrumentos pedagógicos especiales para la transferencia de dichas técnicas, y el material producido (en forma escrita y como programas para computador) se entrega gratuitamente a otras ONGs.

NeatWork es la segunda versión de una herramienta de diseño para redes de distribución que ha sido usada y probada por Agua Para La Vida en un gran número de sistemas de flujo por gravedad.

## 3. Agradecimientos

Concepción: G. Corcos, y J.-P. Vial.

Implementación e interface: F. Babonneau y Laurent Drouet.

Herramienta de optimización : Mosek de EKA Consulting ApS.

Traducción (Español): H. Schwember y R. Gainza.

La Universidad de Ginebra contribuyó con el financiamiento para el desarrollo de la Versión 2.

Agradecemos también los valiosos comentarios y sugerencias de Charlie Huizenga & Jim Stacey.

Contactos:

[Frederic.babonneau@hec.unige.ch](mailto:Frederic.babonneau@hec.unige.ch)

[Laurent.drouet@hec.unige.ch](mailto:Laurent.drouet@hec.unige.ch)

[Jean-philippe.vial@hec.unige.ch](mailto:Jean-philippe.vial@hec.unige.ch)

[aplv@aplv.org](mailto:aplv@aplv.org)

## **B – Lo fundamental de NeatWork**

### **1. Redes de Distribución Impulsadas por Gravedad**

NeatWork es una herramienta de diseño especializado y adaptada a dos condiciones de la realidad de los proyectos de agua en las comunidades rurales pobres:

- Generalmente no se dispone de energía eléctrica o mecánica, o si existen ellas son demasiado caras y plantean serios problemas de mantenimiento.
- Cuando la construcción de los sistemas de agua potable está a cargo de la comunidad misma, lo normal es que no se pague por la mano de obra. El mantenimiento puede hacerse a bajo costo, de modo que el principal gasto inicial es el de los materiales, especialmente el de las tuberías para la red. Por ello el costo de los materiales es una de las dos limitantes principales para la construcción de estos sistemas, (el otro se refiere a la necesidad de contribuir al pago de las competencias técnicas y administrativas, que generalmente vienen de fuera de la comunidad).

Por ello:

- NeatWork trabaja sólo con redes de distribución impulsadas por gravedad.
- NeatWork asigna una alta prioridad a encontrar soluciones que logren simultáneamente el mínimo costo de materiales y soluciones operacionales satisfactorias.

Sin embargo, tal como ya lo hemos mencionado y como lo mostraremos más adelante en términos cuantitativos, el requisito de costo mínimo entra en conflicto con el requisito de servicio confiable bajo todas las condiciones de operación probables. Así por ejemplo:

- a) Si el diseño es apropiado para el uso de todas las llaves al mismo tiempo, también lo será para la operación de cualquier fracción de tales llaves. Pero entonces, el sistema será obviamente sobredimensionado (y por tanto, excesivamente caro) dado que casi nunca se usan todas las llaves simultáneamente.
- b) En el caso de un uso fraccional de las llaves (e indefinido o aleatorio), la sensibilidad del caudal en una llave dada frente a las combinaciones de apertura simultánea de las otras llaves puede ser sistemáticamente eliminada, pero ello se logra sólo por métodos que pueden aumentar seriamente los costos de la red y que no son aplicables cuando la diferencia de elevaciones disponibles es muy pequeña.

De tal modo que un diseño que logre caudales aceptables para todas las llaves bajo casi todos los escenarios de apertura y a costo mínimo requiere a la vez un control sofisticado de parte del diseñador del módulo de optimización y un análisis de performance muy amplio en el caso del módulo de simulación. Esto es lo que NeatWork logra.

Las herramientas que ya existen para el diseño de sistemas de distribución pueden entregar una cantidad de respuestas sofisticadas para el caso de las alternativas modernas con uso de bombas y diversos requisitos de caudal, pero ellas no ayudan al diseñador que trabaja con las rústicas características exigidas por las simples redes que nos interesan. Esas herramientas son buenas para otras necesidades; por ejemplo, entregar presiones en los puntos de descarga que están determinadas por los caudales necesarios en las llaves, por exigencias de circuitos alternativos de seguridad, satisfacción de ciclos proyectados de demanda diaria y estacional, tasas de propagación de calidad del agua, etcétera. Pero tales herramientas no consideran potenciales de energía tan bajos que hacen la solución apenas posibles o escenarios de uso impredecibles.

## **2. Características clave para el diseño y la simulación**

Puesto que hay oposición entre las exigencias de suministros adecuados y las de costos mínimos del sistema de distribución, ¿cómo se expresa, en síntesis, dicho conflicto y cómo se resuelve el tema del diseño?

### **Capacidad y uniformidad del sistema.**

#### **Capacidad**

La capacidad está determinada por las configuraciones de uso del agua por la comunidad en las horas pico. Cabe notar que estas configuraciones son, en parte, el resultado de la percepción del diseñador de los hábitos de vida de las comunidades y, en parte, el resultado de la adaptación de las comunidades a una forma completamente nueva de acceder al agua. Por último, el diseñador deberá seguir algunas normas establecidas. Por ejemplo, la actual norma de APLV es que, cualquiera que sea la disponibilidad diaria de agua para una aldea, la mitad de dicha disponibilidad debe ser accesible durante las primeras dos horas de vigilia del día. El diseño se ajustará para esta tasa de uso pico, la que será promediada para el período de dos horas. En este caso esto significa que el producto del caudal medio por llave multiplicado por el número máximo de llaves abiertas, en promedio, durante ese tiempo, debiera ser igual a la mitad del suministro total diario de agua. Dado el número total de llaves instaladas, el cálculo determina la fracción máxima de ese total que puede abrirse simultáneamente (una vez que se ha definido el caudal medio por llave). De este modo se determinan los dos primeros parámetros de diseño: el caudal medio objetivo por llave y la fracción máxima de llaves abiertas simultáneamente.

#### **Uniformidad**

El consumo en horas pico promediado para todas las llaves se asocia con un caudal para el total de llaves que casi siempre cae dentro de un rango aceptable. Un caudal demasiado bajo o la ausencia total de caudal pueden ser aceptados sólo como episodios muy infrecuentes para cualquiera de las llaves. Tampoco es deseable un caudal demasiado alto. Sin embargo, la configuración de uso (esto es, la combinación de llaves abiertas) es casi completamente aleatoria dentro de un lapso de tiempo muy estrecho. Debe insistirse que en una red con



tuberías cerca del costo mínimo, cada combinación específica de llaves abiertas tiene una influencia determinante sobre el caudal de cada llave. Cabe notar también que Neatworl trata cada llave como completamente abierta o cerrada. Esto resulta satisfactorio en la práctica, aun en el caso de llaves que permiten regular el caudal.

## Las herramientas de Diseño y Simulación

### El módulo de optimización

El módulo de optimización genera costos mínimos de diseño respetando las normas de suministro. Funciona **exclusivamente** con **redes arborescentes** (o en árbol). Considera el caudal en cada segmento como dato fijo. Los diámetros de las tuberías son elegidos de modo que las pérdidas por fricción inducidas por los caudales correspondientes produzcan las pérdidas de altura apropiadas.

Los principales parámetros de diseño son:

- a) El **Caudal Objetivo en la Llave** (o sea, una aproximación al caudal medio deseado en la llave).
- b) La **Fracción de Llaves Abiertas** (o sea, el número máximo de llaves que pueden estar abiertas al mismo tiempo).
- c) La **Calidad de Servicio**.

Los dos primeros parámetros son fáciles de entender. Hay una relación evidente que los vincula al caudal máximo de descarga del tanque en las horas pico:

$$(\text{caudal máximo}) = (\text{caudal objetivo en la llave}) \times (\text{fracción de llaves abiertas}).$$

El tercer parámetro refleja el uso de una lógica estadística para evitar sobredimensionar el sistema y, al mismo tiempo, respetar las normas de suministro. La motivación es evidente: la tubería de salida del tanque debe manejar el caudal máximo deseable (de acuerdo a la definición anterior), en tanto que el último tramo de tubería que conecta a una llave en particular debe entregar el caudal deseado cuando esa llave esté abierta. Para los segmentos de tubería intermedios entre los nodos ramales, el diseño debe entregar un caudal que dependerá del número medio de llaves suministradas por ese segmento.

Para acomodar peculiaridades de una configuración en particular el ajuste de los dos valores en los puntos extremos se logra mediante una curva de diseño a un parámetro: mientras mayor sea este parámetro mayor será el caudal en los segmentos intermedios y, en consecuencia, en general mayor será el suministro a todas las llaves y menor la frecuencia de casos de caudales anormales en cualquier llave, pero a la vez, más caro será el sistema. Este tercer parámetro se llama Calidad del Servicio. Su valor final sólo puede ser determinado después de probar el módulo de simulación. De modo que la Calidad de Servicio puede ser considerada un instrumento de ajuste global del sistema. Una vez que ella ha sido fijada, en conjunto con los otros dos parámetros, la herramienta de diseño entrega la solución de costo mínimo en tuberías.

### El módulo de simulación

Esta parte del programa entrega los valores de los caudales en las llaves para cualquier combinación de llaves abiertas. El módulo de simulación sirve para

cualquier diseño, incluyendo la solución de costo mínimo, y para cualquier fracción de llaves abiertas, incluyendo la que se ha elegido en el módulo de diseño. También permite el cálculo de caudales cuando se agregan circuitos en anillo al diseño (usando tuberías de los diámetros seleccionados).

Los parámetros principales para la simulación son:

- a) La **Fracción de llaves Abiertas**.
- b) El **Número de Simulaciones**.

El programa de simulación puede resolver en corto tiempo y de manera secuencial los caudales de un gran número de configuraciones de llaves específicas abiertas, seleccionadas al azar (500 es un valor típico). El resultado incluye varias cantidades estadísticas y no estadísticas de interés. Entre ellas cabe mencionar el porcentaje de casos de caudal por debajo o por encima de un valor dado para una llave cualquiera, el caudal medio para cada llave y para el promedio de las llaves abiertas, el caudal máximo y mínimo para cada llave, las presiones correspondientes en los nodos, las velocidades del agua y otras cantidades de interés. Éstas pueden ser comparadas con las normas de diseño. La comparación le permite al diseñador bien sea, detener el proceso – porque el diseño es satisfactorio en todos los aspectos – o bien ajustar el diseño alterando el valor del factor calidad del servicio (o más localmente, cambiando el valor de los “factores de carga” de cada segmento de tubería) en el módulo de diseño; o, alternativamente, una vez que el módulo de optimización ha entregado un diseño, alterando sea el diseño mismo (por ejemplo, el diámetro de una tubería o de un orificio en la cercanía de una llave con problemas), o bien verificando los resultados de las modificaciones con nuevas simulaciones. El proceso se puede repetir hasta que la respuesta es considerada óptima.

Se puede lograr una solución satisfactoria a través de simulaciones sucesivas, simplemente encontrando el valor más bajo de calidad del servicio compatible con las normas deseadas para la variabilidad en las llaves. Debe señalarse que muchas veces uno puede lograr una solución todavía más barata mediante los ajustes manuales recién mencionados, a costa de un valor ligeramente inferior del parámetro de calidad de servicio.

Estos últimos pasos del diseño no son automáticos: El ajuste manual exige bastante destreza y experiencia de parte del diseñador, aunque con Neatwork la economía neta que se puede lograr se reduce mucho.

## **Entradas y salidas en los dos módulos:**

### **Módulo de diseño**

#### ***Entradas***

El módulo de diseño requiere como entradas:

- a) La *topografía de la red*, o sea, el punto inicial u origen, la secuencia de las derivaciones o ramas y todos los nodos de la red, con las elevaciones de dichos nodos y las longitudes de todos los segmentos entre ellos. *El número de las llaves en cada nodo terminal* también debe ser especificado. También hay una entrada para las coordenadas en el plano de los nodos (respecto de ejes Norte – Sur y Este – Oeste). Estos datos pueden ser útiles, especialmente si se consideran circuitos en anillo,

aunque las coordenadas no se usan en el módulo de diseño óptimo. Sin embargo, en todo caso el programa exige un valor nominal para las coordenadas (por ejemplo, 0).

- b) Un conjunto de parámetros de diseño que especifiquen el *caudal objetivo de cada llave, la fracción de llaves abiertas y la calidad del servicio*. También debe especificarse un valor aproximado de la *temperatura del agua del pozo*.
- c) Dos archivos de parámetros, uno para las tuberías, (*diámetros internos disponibles, presión máxima de trabajo, costo y coeficiente de fricción equivalente de Moody o tipo de material de las tuberías*), y uno para los orificios (*diámetros disponibles*). Además, el tipo de llaves disponibles es especificado mediante una constante de pérdidas en la llave. Dado que no se trata de una constante familiar se requiere cierto desarrollo, el que se incluye en el apéndice.
- d) La especificación de cualquier restricción, tal como el diámetro de las tuberías ya existentes en alguno de los segmentos.

### **Salidas**

Las salidas o resultados del módulo de diseño están en un archivo de diseño que reproduce los datos topográficos y recomienda los diámetros de tuberías para cada segmento y los diámetros de los orificios para algunos segmentos terminales.

Lo típico es que en el módulo de diseño se elija un solo tipo de tubería para toda la longitud de un segmento. En algunos casos se pueden proponer dos diámetros para el mismo segmento con las correspondientes longitudes complementarias. En tal caso la longitud del tramo mayor se selecciona como múltiplo entero de las longitudes comerciales de tubería y se ajusta al tramo más corto para completar la longitud total del segmento. De este modo se asegura el número mínimo de cortes de tubería.

Los nodos terminales incluyen una o más llaves. En el caso de puestos públicos de agua suele haber varias llaves. Las diferentes llaves de un mismo terminal P son listadas en NeatWork como P\_1, P\_2, P\_3,..., etc.

Para los orificios el diseño recomienda dos conjuntos de diámetros: los diámetros ideales — que son los calculados —, y los diámetros disponibles que consiguen el caudal más aproximado.

## **Módulo de simulación**

### **Entradas**

El módulo de simulación requiere como entradas:

- a) Un *diseño*, que puede ser el resultado del módulo de diseño óptimo o una versión modificada del mismo o cualquier otro diseño (que puede incluir circuitos en anillo), en el que las mismas características son especificadas.
- b) El *tipo de orificios* que se usarán: *ideales* vs. *disponibles*.
- c) El *modo de simulación*

- El *modo normal* corresponde a una selección al azar de llaves abiertas y cerradas, consistente con la *fracción de llaves abiertas* (que no tiene que ser necesariamente la misma fracción usada en el módulo de optimización). La selección al azar se hace mediante un muestreo de Monte-Carlo.
  - El *modo llave-a-llave* computa el caudal de cada llave cuando ella es la única llave abierta, y se realiza para la totalidad de las llaves.
  - El *modo a la orden* le da al usuario la posibilidad de especificar el conjunto de llaves abiertas y cerradas.
- d) Para fines de registro y para facilitar el análisis de los resultados de la simulación, el usuario puede elegir arbitrariamente los valores de los caudales objetivo, y los caudales máximo y mínimo.

### **Salidas**

Las salidas o resultados del módulo de simulación se entregan como estadísticas a partir de las simulaciones individuales. Los diversos componentes son:

- Principales estadísticas de los caudales en las llaves.
- Percentiles en las llaves.
- Velocidades del agua en los diversos segmentos de tuberías.
- Presiones en los nodos.

# C - Para familiarizarse con NeatWork

## 1. Introducción

### Procedimiento de instalación

El archivo neatwork.zip contiene una versión comprimida para window de NeatWork325. Efectúe unzip de él (descomprímalo) hacia una nueva carpeta.

Esta carpeta contendrá los siguientes **archivos**:

- NeatWork325.jar: archivo java ejecutable.
- SOLVER.DLL: biblioteca de solver.
- mosek2\_1.dll y pthreadvse.dll: bibliotecas de Mosek solver.

#### Y carpetas

- db: almacenadores de las bases de datos.
- projects: almacenadores de las topografías, diseños y simulaciones.

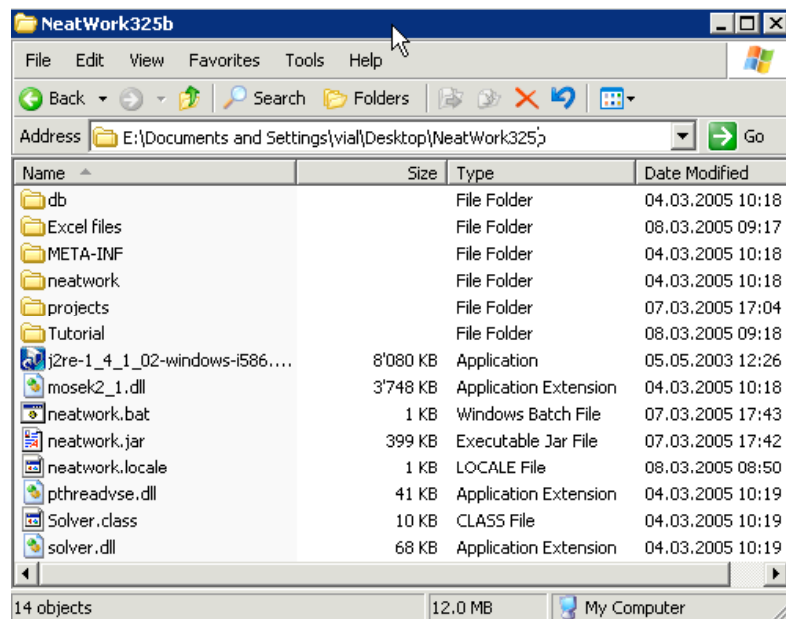
El paquete incluye también una **carpeta patrón** que contiene:

- Un modelo o patrón de topografía en Excel.
  - El patrón de topografía es una buena ayuda para alimentar una nueva topografía en las tablas topográficas de NeatWork325.jar..
- Un patrón de diseño en Excel
  - El patrón de diseño sirve para importar rápidamente el diseño a las tablas de diseño de NeatWork325.jar.
- Un patrón de resumen del proyecto en Excel
  - El patrón de resumen del proyecto es un auxiliar conveniente que permite disponer de una terminología standard (pero de su propia elección) para los registros topográficos, de diseño y simulación, y permite también distinguir las diversas topografías, diseños y simulaciones para un mismo proyecto.
- Una guía patrón en Word para instruir en el uso de los diversos patrones o modelos.

Para su conveniencia, el usuario puede agregar cualquier sub-carpeta. La organización típica de una carpeta en NeatWork es similar a la imagen siguiente:

---

Nota: Existen ciertas partes de las ventanas que se muestran como ejemplo en esta guía que contienen palabras en francés o inglés. Esto se debe a que el sistema operativo de las computadoras donde se produjeron estas, utilizaban indistintamente estos dos idiomas. Este problema se resuelve al trabajar con una PC que tenga un sistema operativo en español.



Para **iniciar NeatWork**, haga doble clic en el archivo `NeatWork325.jar`. Si el doble clic no funciona, abra una señal de comando, vaya al directorio de NeatWork y escriba:

```
java -jar NeatWork.jar
```

Nota: NeatWork requiere una versión 1.3.0 o superior de Java Virtual Machine.

## Sistema de archivos

Todo proyecto implica tres tipos de archivos:

- Archivos de topografía, con sufijos “.tpo”, por ejemplo, `Net5.tpo`
- Archivos de diseño, con sufijos “.dsg”, por ejemplo, `Net5.dsg`
- Archivos de simulación, con sufijos “.sim”, por ejemplo, `Net5(1).sim`, `Net5(2).sim`,...

El usuario puede abrir archivos de topografía y diseño desde los menús apropiados. Los archivos de simulación no son accesibles directamente. NeatWork los crea cuando se realiza una simulación a partir de un diseño dado. Ellos son guardados automáticamente cuando se guarda el diseño, y reciben el nombre del archivo de diseño con un número entre paréntesis que corresponde al número de la simulación. Los archivos de diseño contienen un vínculo para todos los archivos esclavos de simulación: al abrir un archivo de diseño se obtiene acceso directo a todos los archivos esclavos de simulación.

Los archivos de proyecto están incluidos en la carpeta “project”. El usuario puede crear sub-carpetas especiales para un proyecto en particular dentro de la carpeta “project”.

*Nota: La carpeta del proyecto puede ser movida a cualquier lugar dentro del disco duro del usuario.*

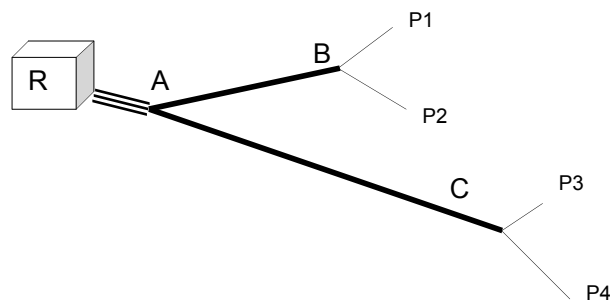
## Unidades de medida

El programa usa las siguientes unidades

1. Todas las longitudes, alturas y diámetros se miden en metros.
2. Las velocidades en las tuberías se miden en metros por segundo.
3. Las presiones, tales como las alturas, son medidas en metros de columna de agua. Una unidad (metro) de esta medida corresponde a 9810 Newtons por metro cuadrado (o 0.981 Newton por centímetro cuadrado).

## Ejemplo ilustrativo

El ejercicio tutorial se ilustra mediante el siguiente ejemplo sencillo



La figura representa un sistema con un tanque o reservorio R, tres ramales de conexión (R-A, A-B, A-C), cuatro ramales que llevan a una llave (B-P1, B-P2, C-P3, C-P4), y cuatro nodos terminales. La topografía del sistema se describe mediante dos conjuntos de datos básicos. Los ramales desde R y los que se hallan entre dos nodos se denominan segmentos (o arcos) y los puntos finales de todos los segmentos terminales se llaman nodos llave. Cada nodo terminal incluye al menos una llave y, en algunos casos, varias (por ejemplo, P2 y P4).

Datos en los nodos

ID del Nodo	Altura	X	Y	Nº de Llaves	Tipo
R	0	0	0		Tanque
A	-10	0	0		Ramal
B	-15	0	0		Ramal
C	-20	0	0		Ramal
P1	-12	0	0	1	Llave
P2	-9	0	0	3	Llave
P3	-18	0	0	1	Llave
P4	-19	0	0	2	Llave

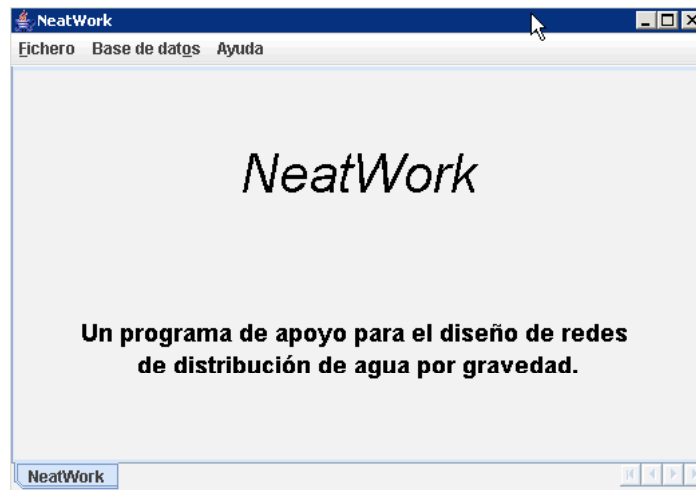
Datos de los segmentos (arcos)

Segmento	Desde nodo	Hasta nodo	Longitud
1	R	A	20
2	A	B	50
3	A	C	250
4	B	P1	12
5	B	P2	80
6	C	P3	9
7	C	P4	110

## 2. Breve tutorial por menús

### Iniciar NeatWork

Haga doble clic en “NeatWork.jar” para iniciar el software que abre la primera ventana.



La primera página de NeatWork le ofrece tres menús: *Fichero*, *Base de Datos* y *Ayuda*. Sugerimos que usted empiece consultando el menú *Base de Datos*. Pero si el idioma que sale por primera vez no es el español, entonces utilice el menú *Ayuda* para seleccionar este idioma. Neatwork le pedirá que debe de recomenzarlo, esto le permitirá utilizar el programa en español.

### Menú “Base de datos”

NeatWork abre automáticamente los dos archivos de datos `diameters.db` y `orifices.db` que son parte de la sub-carpeta “db” de la carpeta “NeatWork325”.

Las bases de datos aparecen así:



Base de datos del Hardware

Diámetros Orificios

Lista de Diámetros

Nominal	SDR	Diámet...	Costo/m	Presió...	Tipo	Fricción
1/2"	13.5	0.0182	0.25	176.8	1	0.0015
3/4"	17.0	0.0235	0.38	140.8	1	0.0015
1 "	17.0	0.0295	0.7	140.8	1	0.0015
1 1/4"	17.0	0.0372	0.98	140.8	1	0.0015
1 1/4"	26.0	0.0389	0.75	89.6	1	0.0015
1 1/4"	32.5	0.0391	0.57	70.4	1	0.0015
1 1/2"	17.0	0.0426	1.28	140.8	1	0.0015
1 1/2"	26.0	0.0446	1.03	89.6	1	0.0015
1 1/2"	32.5	0.0453	0.74	70.4	1	0.0015
1 1/2"	41.0	0.0459	0.71	56.32	1	0.0015
2 "	17.0	0.0532	2.01	140.8	1	0.0015
2 "	26.0	0.0557	1.48	89.6	1	0.0015
2 "	32.5	0.0566	1.28	70.4	1	0.0015
2 "	41.0	0.057...	0.89	56.32	1	0.0015
2 1/2"	17.0	0.064...	3.55	140.8	1	0.0015
2 1/2"	26.0	0.0674	2.34	89.6	1	0.0015
2 1/2"	32.5	0.068...	1.81	70.4	1	0.0015
3 "	17.0	0.0784	4.41	140.8	1	0.0015
3 "	26.0	0.082	3.35	89.6	1	0.0015
3 "	32.5	0.0834	2.97	70.4	1	0.0015
3 "	41.0	0.084...	2.51	56.32	1	0.0015
4 "	17.0	0.1008	7.54	140.8	1	0.0015
4 "	26.0	0.1055	5.65	89.6	1	0.0015

Cerrar

Base de datos del Hardw...

Diámetros Orificios

Lista de orificios

Diámetro

0.0030

0.0040

0.0050

0.0060

Cerrar

La base de datos de tuberías lista para cada tubería: el espesor de pared, la presión de trabajo (en metros de columna de agua), el precio (costo del metro), la categoría (PVC = 1; otros = 2). La razón para estas dos categorías es que para el PVC (categoría 1) se postula una ley especial de pérdida por fricción que tiene un equivalente muy pequeño en rugosidad de granos de arena. Para los otros materiales de tubería (categoría 2) se debe especificar la rugosidad (para la discusión de la rugosidad en las leyes de pérdida por fricción usadas por NeatWork, ver apéndice E.)




**Advertencia:** Las columnas (espesor de pared) "Nominal" y "SDR" corresponden a la identificación comercial de las tuberías. La identificación de las tuberías en el procesador de NeatWork usa sólo los diámetros interiores (tercera columna). El usuario debe asegurarse que no aparezcan dos tuberías con el mismo diámetro interior. Si ello no se cumple, sugerimos introducir una pequeña perturbación en uno de los diámetros para asegurarse de que NeatWork identifica correctamente cada tubería.





Para la base de datos de los orificios rige el mismo principio, pero la base de datos es mucho más sencilla: un orificio es un diafragma de diámetro fijo, caracterizado por el diámetro de un pequeño agujero concéntrico.


## Para editar las bases de datos

Como ayuda, NeatWork incluye una base de datos local con un juego de tuberías standard y también un juego de orificios con sus características. Usted puede acceder a ella a través del sub-menú *Editar base de datos*. Puede suceder que la base de datos incluida con su programa NeatWork no sea la que usted desea o la que usted puede usar.

La base de datos puede ser editada usando los siguientes botones:

-  Insertar nuevo diámetro.
-  Eliminar diámetro(s) seleccionado(s).
-  Copiar la base de datos en el tablero. (El contenido del tablero puede ser pegado como tabla en Microsoft Excel o en Word.)

-  Pegar el tablero para construir la nueva base de datos (El tablero debe contener una tabla con el formato adecuado.)
-  Cargar datos. (Vuelve a cargar la base de datos corriente.)
-  Guardar datos mostrados en la base de datos.
-  Reporte en HTML. Guarda la base de datos corriente (no la que se muestra) en html. (Lo que es conveniente para el intercambio de datos entre diferentes usuarios.)

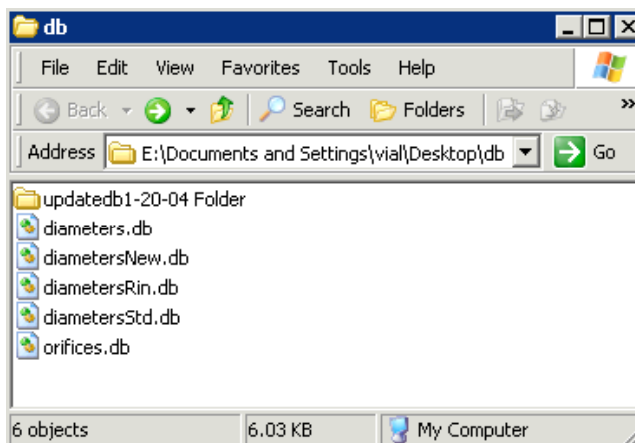
La base de datos por defecto de diámetros vale para tuberías de PVC clasificadas según las especificaciones SDR. Supongamos que usted desea trabajar con tuberías de polietileno en lugar de PVC o que usted puede acceder a tuberías de PVC clasificadas según las especificaciones SAE en lugar de las SDR. En ese caso usted debe primero corregir o reemplazar la base de datos suministrada con NeatWork. Usted puede editar la base de datos suministrada usando los botones mostrados en la tabla anterior. No se olvide de validar sus cambios usando el botón *Guardar*. .

Su base de datos final deberá incluir todas las tuberías y orificios que usted quiere usar y que tiene posibilidad de conseguir.

Más tarde, antes de iniciar un diseño, se le pedirá seleccionar de la base de datos el subconjunto de tuberías que están efectivamente disponibles para el proyecto del caso. Pero los agregados a la base de datos deben necesariamente introducirse en esta fase.

### Para almacenar las bases de datos

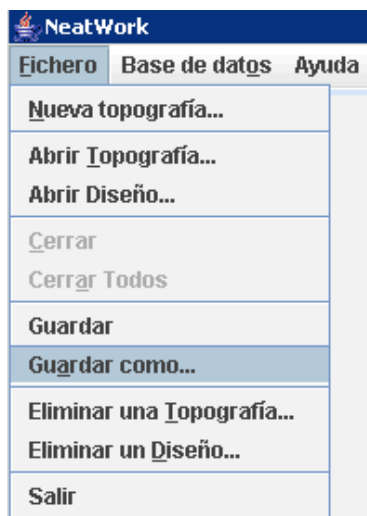
Las bases de datos son almacenadas en los archivos `diameters.db` y `orifices.db`, contenidos en la sub-carpeta “db”



Note que la carpeta “db” contiene otros archivos y sub-carpetas que, a su vez, contienen información almacenada por el usuario, por ejemplo, bases de datos alternativas. Sin embargo, NeatWork reconoce sólo los dos archivos `diameters.db` y `orifices.db`. Para hacer uso de un archivo alternativo, por ejemplo, `diametersStd.db`, en la base de datos activa se debe, primero, guardar el archivo corriente `diameters.db` en una carpeta separada (o cambiarle el nombre) y renombrar `diametersStd.db` como `diameters.db`. Lo mismo vale para la base de datos de los orificios.

## Menú “Fichero”

Al hacer Clic en **Fichero** se abre un menú que contiene 10 sub-menús.



### Sub-menú “Nueva topografía”

Usted puede crear una nueva topografía de los modos siguientes

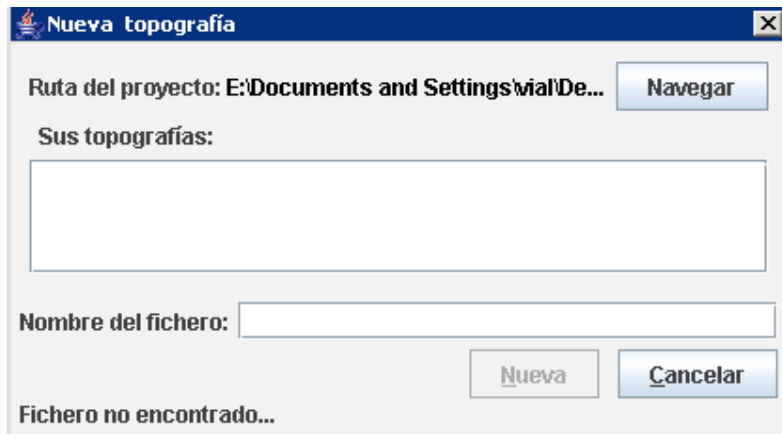
- Entrando valores de los elementos (nodos y segmentos) dentro de NeatWork.
- Copiando información del tablero (siempre que ella tenga el formato adecuado).

**Advertencia:** la topografía debe ser un árbol (una red arborescente), o sea

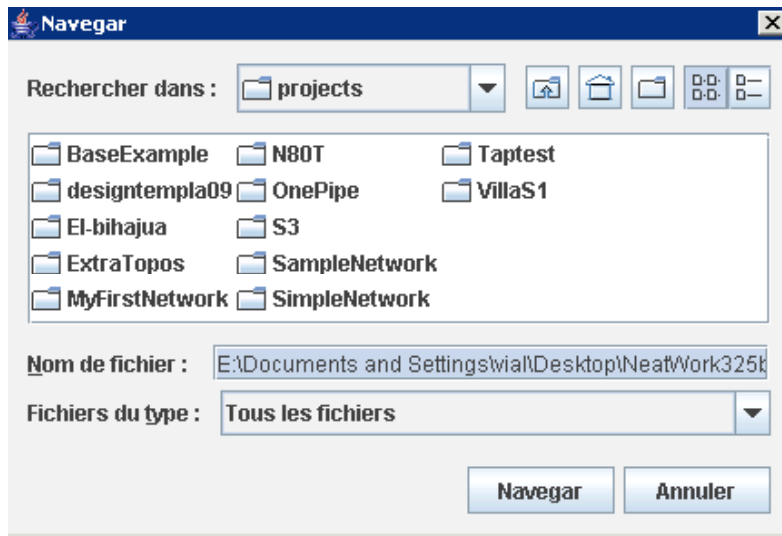
- Una red conectada;
- Una red sin circuitos en anillo.

(Usted también puede crear un proyecto nuevo modificando una topografía existente. Esto se logra con el sub-menú “Abrir topografía”. Ver la sección siguiente del manual.)






*Nueva Topografía* abre una ventana que muestra los archivos existentes *name.topo* de la carpeta “projects” (en el ejemplo que sigue, no hay ningún archivo *name.topo*).




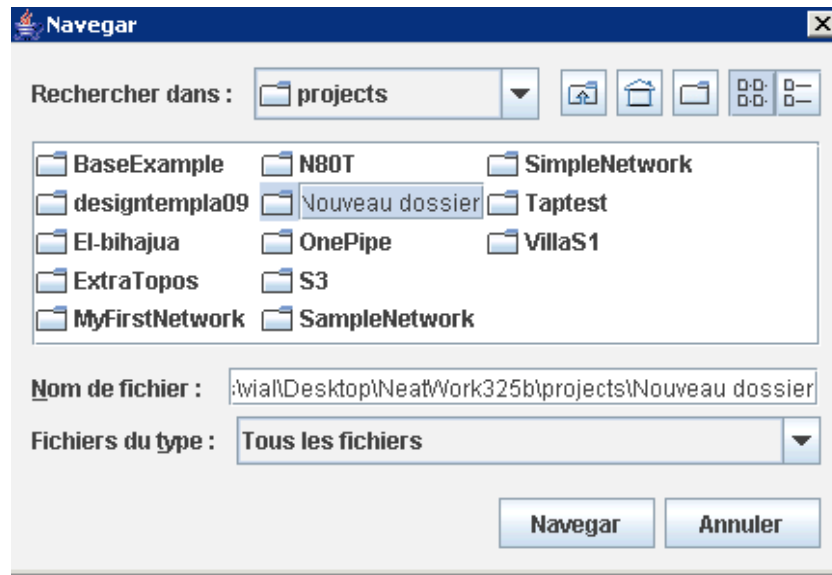
Haciendo clic en el botón superior derecho se accede a las carpetas contenidas en la carpeta “projects”.



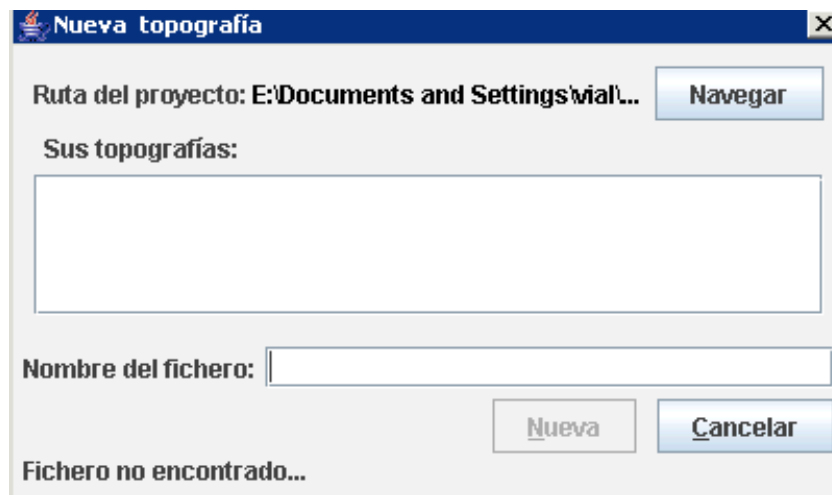
El botón superior derecho permite

-  Subir un nivel.
-  Moverse al directorio base.
-  Crear una nueva carpeta.
-  Mostrar una lista.
-  Mostrar detalles.

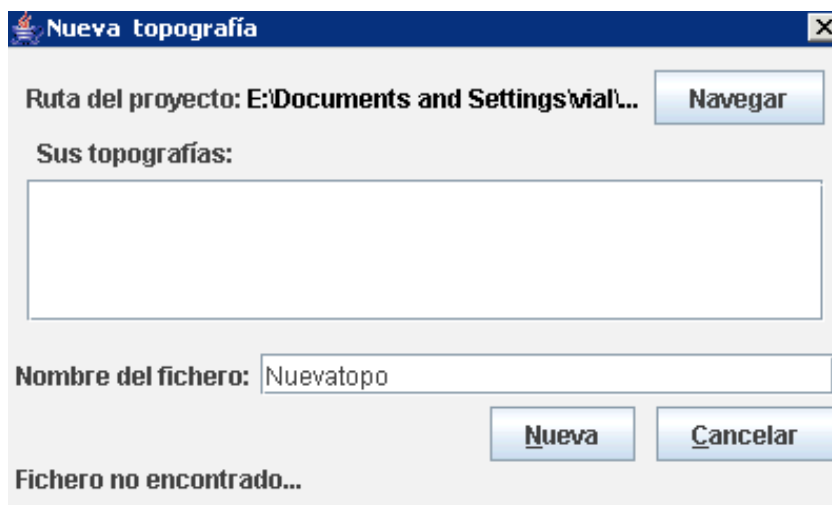
Haciendo clic en  se crea una “Nueva carpeta” que usted puede renombrar (en este caso, la renombramos “MyProject”):



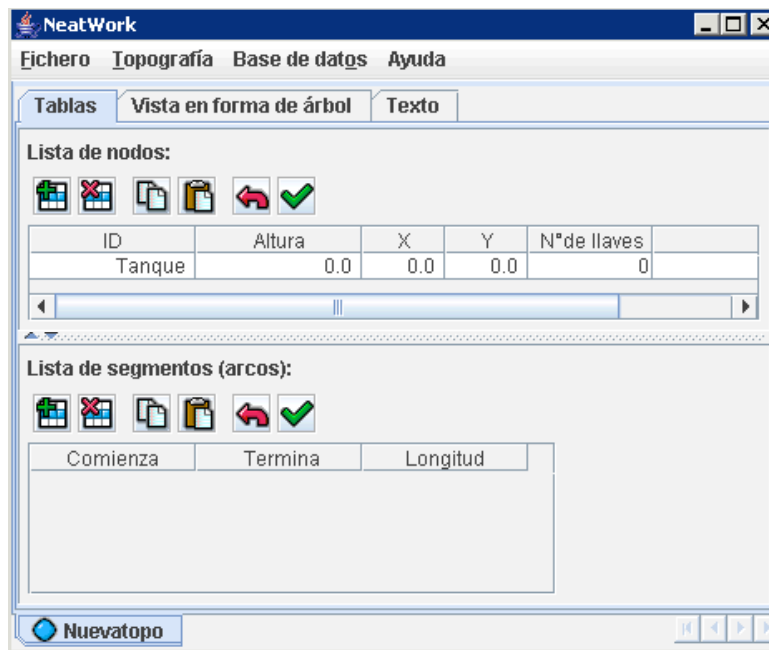
Para abrir la nueva carpeta, selecciónela (tal como en la imagen anterior), y haga clic en el botón *Navegar*.



Escriba el nombre de su nueva topografía



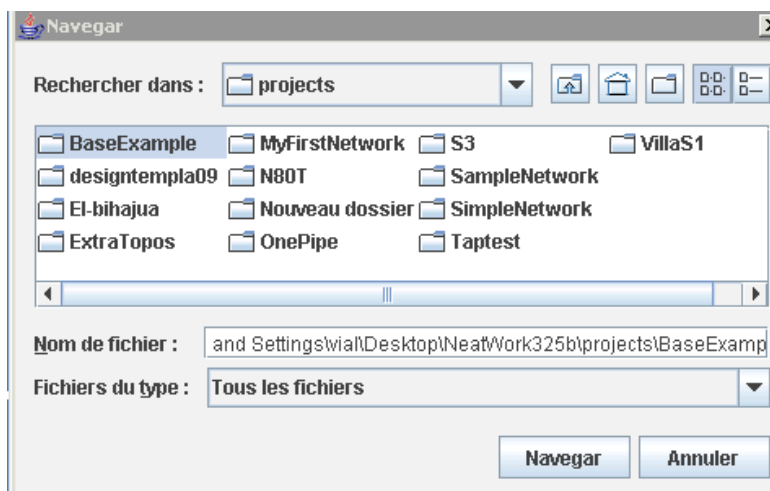
y haga clic en *Nueva* para abrir la ventana de la nueva topografía



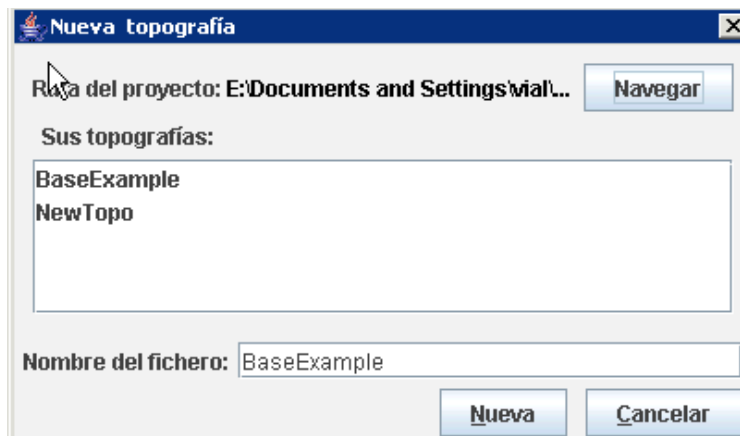
donde usted puede empezar a entrar sus datos.

### **Crear una nueva topografía dentro de un proyecto**

Proceda tal como antes, pero seleccione una carpeta de un proyecto existente. Por ejemplo, "BaseExample".



Al hacer clic en el botón *Navegar* aparece la lista de archivos "xxx.topo" almacenados en la carpeta corriente ("BaseExample" en la tabla anterior).



Usted ve que la carpeta “BaseExample” contiene un solo archivo de topografía, a saber BaseExample.topo. Dele un nombre a la nueva topografía y haga clic en *Nueva*. La carpeta “BaseExample” tendrá entonces 2 archivos de topografía: BaseExample.topo y NewTopo.topo. (Vea las sugerencias sobre nomenclatura en el patrón resumen Project).

### ***Para llenar los datos de una topografía nueva***



Hay varias maneras de entrar datos en las tablas de nodos y segmentos. Aquí revisamos las más convenientes.

#### **Entrar datos directamente en la tabla**

Si usted selecciona crear una nueva topografía, utilice la ventana anterior, después nombréla y finalmente seleccione la opción *Nueva*. A continuación en su pantalla aparecerá la siguiente figura, la que contiene dos tablas vacías.

The screenshot shows the NeatWork application window. It has a menu bar with 'Fichero', 'Topografía', 'Base de datos', and 'Ayuda'. Below the menu is a tabbed interface with 'Tablas', 'Vista en forma de árbol', and 'Texto'. The 'Tablas' tab is active, showing two tables. The first table, 'Lista de nodos', has a header row with 'ID', 'Altura', 'X', 'Y', 'N° de llaves', and 'Tipo'. Below it is a single row with the values 'Tanque', '0.0', '0.0', '0.0', '0', and 'TANQUE'. Above this table are six icons: a grid, a red X, a document, a folder, a red arrow, and a green checkmark. The second table, 'Lista de segmentos (arcos)', has a header row with 'Comienza', 'Termina', and 'Longitud'. Above this table are the same six icons. At the bottom of the window is a status bar with the text 'Nuevatopograf' and some navigation buttons.

La tabla superior lista los nodos que incluyen el tanque inicial y los nodos terminales (llaves). La tabla inferior lista los segmentos entre nodos. Llene la tabla de nodos primero y la de segmentos después. Encima de cada tabla, usted puede ver seis botones. Los primeros cuatro ya son conocidos. Los últimos dos son


-  Deshacer modificaciones.
-  Validar modificaciones.

### **Para llenar la lista de nodos**


Ilustramos aquí cómo llenar la lista de nodos con sólo tres nodos: el tanque, un nodo ramal y un nodo terminal (llave). Los campos de la tabla son:

- **ID** (Identificación del nodo).
- **Altura** (elevación con respecto al tanque). Por convención, la elevación del tanque es 0. La elevación de los otros nodos es negativa.
- **X e Y**, coordenadas horizontales (**se debe** llenar algunos valores aunque ellos no afectan el diseño);
- **N° de llaves** (o nodos terminales, exclusivamente);
- **Tipo** (tanque, nodo ramal o nodo llave). NeatWork llena automáticamente este campo cuando se han completado las tablas de nodos y segmentos.


**Lista de nodos:**




ID	Altura	X	Y	N°de llaves	Tipo
Tanque	0.0	0.0	0.0	0	TANQUE

Para entrar la información para los otros dos nodos, use el botón. .


**Lista de nodos:**



ID	Altura	X	Y	N°de llaves	Tipo
Tanque	0.0	0.0	0.0	0	TANQUE
N	-20.0	0.0	0.0	0	RAMAL
N1	-10.0	0.0	0.0	1	RAMAL

Al agregar una línea nueva, NeatWork define automáticamente valores por defecto. No se olvide de editar esos valores. Para validar la información, teclee *enter* y haga clic en el botón de validación . Entonces obtenemos


**Lista de nodos:**




ID	Altura	X	Y	N°de llaves	Tipo
Tanque	0.0	0.0	0.0	0	TANQUE
N	-20.0	0.0	0.0	0	RAMAL
N1	-10.0	0.0	0.0	1	RAMAL

Note que NeatWork cambió el tipo de los dos nuevos nodos. Esta es una asignación provisoria, hasta que se haya llenado la tabla de segmentos.

#### Para llenar la lista de segmentos

La tabla de segmentos tiene tres campos: uno para cada extremidad (comienzo y fin) del segmento y uno para la longitud del segmento. Cuando haya completado la tabla, válidelas con .


**Lista de nodos:**



ID	Altura	X	Y	N°de llaves	Tipo
Tanque	0.0	0.0	0.0	0	TANQUE
BNode	-20.0	0.0	0.0	0	RAMAL
CNode	-10.0	0.0	0.0	1	LLAVE

---

**Lista de segmentos (arcos):**



Comienza	Termina	Longitud	
Tanque	BNode	200.0	▲
BNode	CNode	50.0	▼

Note que ahora NeatWork ha asignado el tipo correcto a cada nodo.




- Advertencia: Deben respetarse las reglas siguientes
- Un segmento es un arco orientado. El extremo inicial está próximo al tanque, y el final, próximo a las llaves.
- No se debe poner llaves en el nodo del tanque o en un nodo ramal.

El no respetar estas reglas puede llevar a resultados inconsistentes.

### Entrada de datos vía el patrón Excel

El método anterior es lento y complicado. Es mejor generar primero los datos en una planilla Excel y usar las herramientas de copiar y pegar. El formato en la tabla Excel debe ser exactamente el que se muestra en el patrón Excel.


Antes de usar el patrón Excel, sugerimos que se familiarice con las herramientas copiar y pegar entre NeatWork y Excel. El ejercicio propuesto mostrará el formato de las tablas en la planilla Excel. Cualquier variación al respecto imposibilita pegar una tabla Excel en NeatWork.

En el sencillo ejemplo de tres nodos, use el botón  que se ubica sobre la lista de nodos, abra una planilla Excel y use la función “pegar” para obtener una tabla con estos datos en plantilla Excel.

	A	B	C	D	E	F
1	Tanque	0	0	0	0	0
2	BNode	-20	0	0	0	1
3	CNode	-10	0	0	1	2

Note que el tipo de nodo está representado por las cifras 0, 1 o 2, y no por las palabras Tanque, Nodo Ramal, Nodo llave. Podemos hacer lo mismo con la lista de segmentos

	A	B	C	D	E	F
1	Tanque	0	0	0	0	0
2	BNode	-20	0	0	0	1
3	CNode	-10	0	0	1	2
4						
5	Tanque	BNode	200			
6	BNode	CNode	50			

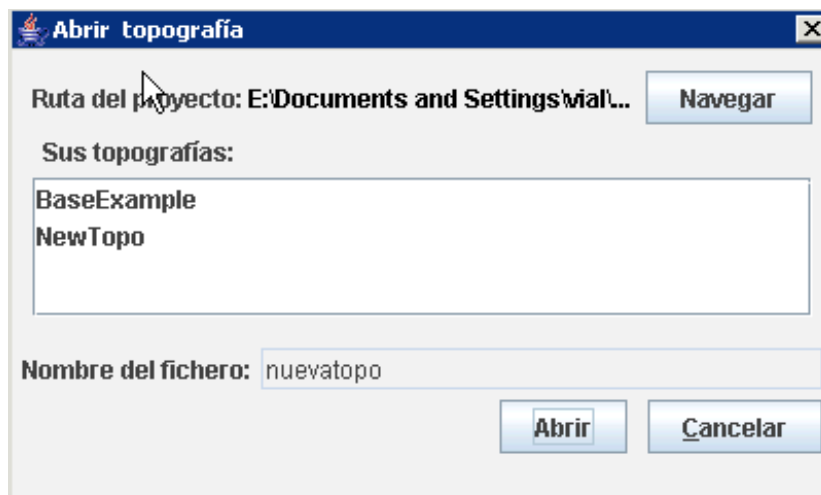
Las funciones copiar y pegar pueden servir para mover datos de una planilla Excel a un nuevo archivo de topografía en NeatWork. Copie la lista de nodos primero y péguela en NeatWork usando el botón  y luego haga lo mismo con la lista de segmentos. Por conveniencia, se incluye un patrón de la topografía en Excel en el paquete de NeatWork.

### Advertencia:

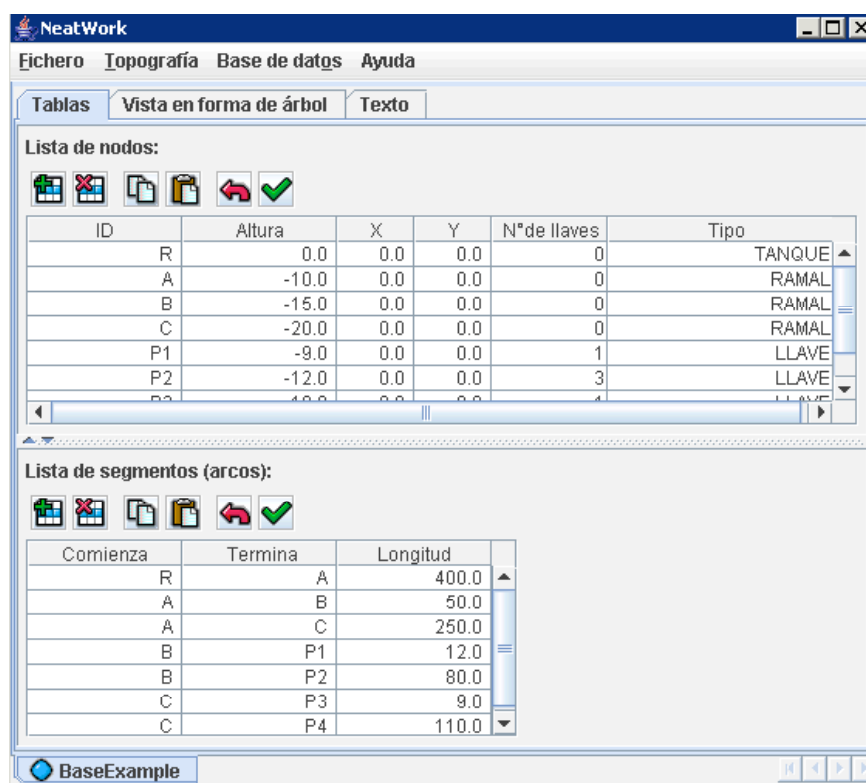
- El formato de las tablas en Excel debe ser exactamente el mismo de las mostradas más arriba. En especial, el tipo de nodos debe ser especificado con los numeros 0, 1 o 2. (Sin embargo, los nombres de los nodos pueden asignarse arbitrariamente.) Igualmente debe existir compatibilidad entre el sistema de puntuación utilizado, es decir puntos o comas. Note que que Neatwork admite solamente puntos.
- Se debe asignar valores a algunas de las coordenadas horizontales X e Y en las tablas de nodos aunque NeatWork no hace uso de esos valores.
- La tabla Excel debe corresponder a un árbol (red arborescente) que nace en el tanque y cuyas ramas alcanzan hasta los nodos terminales.
- Los nodos del tipo 0 (tanque) o 1 (ramal) no deben llevar llaves.

## Sub-menú “Abrir Topografía”

Este sub-menú trabaja de la misma manera que el de “Nueva topografía”. Usando el botón de examen (navegar), mueva la carpeta del proyecto que contiene el archivo de topografía que desea abrir. En el ejemplo que sigue nosotros movimos la carpeta de proyecto “BaseExample” y obtenemos la pantalla




Seleccione el archivo `BaseExample.topo` (el sufijo `.topo` se omite en la pantalla) y apriete *Abrir*. Se obtiene:



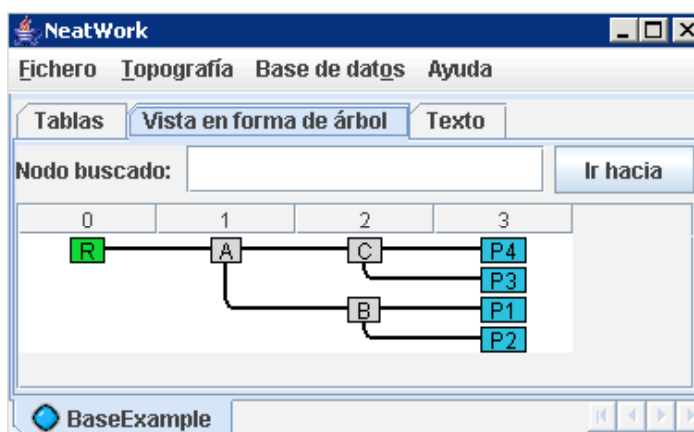
Note que el nodo terminal P2 tiene 3 llaves, en tanto que P4 tiene 2. La topografía puede ser editada usando los botones de la barra



Los cambios se hacen permanentes al validarlos con , y **sólo entonces**.

Sobre la ventana usted puede ver tres lengüetas. La primera, “Tablas”, corresponde a la ventana mostrada. La segunda, muestra un esquema de la

topografía arborescente desde el tanque (verde), a través de los nodos internos (gris) hasta los nodos finales (llaves, azules).



Al hacer clic en cualquiera de las llaves se muestra la trayectoria correspondiente a lo largo del árbol. Note que el nodo terminal puede tener varias llaves. Esto no se muestra en el esquema.

La tercera lengüeta muestra los datos en formato de texto. Esta es la forma como ellos están almacenados en el archivo *name.topo*.

### Sub-menú “Abrir diseño”

Este sub-menú se puede activar sólo si ya existe un archivo de diseño. (Para aprender cómo crear un archivo de diseño desde la topografía, ver más adelante en esta misma sección.) Un archivo de este tipo se halla en la sub-carpeta del proyecto “BaseExample”.

ID	Altura	X	Y	Orificio ideal	Orificio comercial	Tipo
R	0.0	0.0	0.0	0	0	TANQUE
A	-10.0	0.0	0.0	0	0	RAMAL
B	-15.0	0.0	0.0	0	0	RAMAL
C	-20.0	0.0	0.0	0	0	RAMAL
P2	-12.0	0.0	0.0	0	0	RAMAL
P4	-19.0	0.0	0.0	0	0	RAMAL
P1	-9.0	0.0	0.0	0.01451968	-	LLAVE
P2_a	-12.0	0.0	0.0	0.07377202	-	LLAVE
P2_b	-12.0	0.0	0.0	0.07377202	-	LLAVE
P2_c	-12.0	0.0	0.0	0.07377202	-	LLAVE
P3	-18.0	0.0	0.0	0.0061899	0.006	LLAVE
P4_a	-19.0	0.0	0.0	0.01561877	-	LLAVE
P4_b	-19.0	0.0	0.0	0.01561877	-	LLAVE

Comienza	Termina	Longitud	Longitud 1	Diam 1	Longitud 2	Diam 2
R	A	400.0	400.0	0.0391	0.0	-
A	B	50.0	50.0	0.0235	0.0	-
A	C	250.0	250.0	0.0235	0.0	-
B	P2	80.0	68.0	0.0235	12.0	0.0182
C	P4	110.0	66.0	0.0235	44.0	0.0182
B	P1	12.0	12.0	0.0182	0.0	-
P2	P2_a	1.0	1.0	0.0182	0.0	-
P2	P2_b	1.0	1.0	0.0182	0.0	-
P2	P2_c	1.0	1.0	0.0182	0.0	-
C	P3	9.0	9.0	0.0182	0.0	-
P4	P4_a	1.0	1.0	0.0182	0.0	-
P4	P4_b	1.0	1.0	0.0182	0.0	-
B	C	300.0	300.0	0.0182	0.0	-

Costo total del diseño: 1,970

Las tablas de diseño de nodos y segmentos son similares a las tablas de la topografía, sólo que contienen filas y columnas adicionales.

## En la lista de Nodos

- a. La columna “N° de llaves” es reemplazada por dos columnas. La de *orificio ideal* es la que NeatWork computa para acercarse lo más posible a las especificaciones. En la columna *orificio comercial*, NeatWork muestra el diámetro del orificio seleccionado de la base de datos del usuario que da la mejor aproximación al orificio ideal. (Note que los orificios mayores de 0.00737 son reemplazados por no orificio, puesto que los grandes orificios casi no inducen ninguna pérdida de presión para caudales del orden de 0.2 l/s.)
- b. Las filas asociadas con los nodos terminales y que llevan varias llaves son repetidas tantas veces como llaves contengan. Por ejemplo, la fila correspondiente a P2 es repetida 3 veces: así tenemos tres nuevas filas idénticas con identidades P2\_a, P2\_b y P2\_c.

## 2. En la lista de segmentos (arcos)

- a. Cuatro columnas extras dan información sobre cuáles tuberías serán usadas en cada segmento. En general, basta un tipo de tubería, pero ocasionalmente el arco (segmento) se divide en dos sub-segmentos con diferentes tuberías. Éstas son identificadas por sus diámetros interiores (Vea la advertencia correspondiente en la sección sobre las bases de datos).
- b. Cada nodo terminal con varias llaves da origen a tantas nuevas filas (segmentos) como tantas llaves tenga. Por ejemplo, ahora tenemos tres arcos adicionales que surgen en P2 y terminan en P2\_a, P2\_b y P2\_c, respectivamente. A estos arcos se les asigna convencionalmente una longitud de un metro. (Esta longitud es suficientemente pequeña como para no inducir una pérdida de presión significativa para los caudales de una llave típica.)

Note las dos lengüetas en la parte inferior de la ventana. Ellas permiten cambiar entre los archivos de topografía y diseño que estén abiertos. Note también que la lengüeta de topografía está marcada con un pequeño disco azul mientras que la de diseño tiene un disco amarillo.

Note también las cuatro lengüetas en la parte superior. Tres de ellas coinciden con las de la ventana para la topografía (“Tablas”, “Vista en forma de árbol” y “Texto”. “Simulación”, permite acceder a la función de simulación. Ésta será presentada en detalle en un capítulo ulterior.

### Submenús “Guardar” y “Guardar como”

El submenú “Guardar” guarda la topografía con su nombre habitual. (Ver sugerencias sobre nomenclatura en la plantilla resumen del Proyecto). El submenú “Guardar como” le permite guardar la topografía bajo un nombre diferente y en una carpeta distinta. (si usted quiere, puede crear una nueva subcarpeta).

### Submenús “Cerrar” y “Cerrar todos”

Estos submenús permiten al usuario cerrar a voluntad las ventanas abiertas.

### Submenús “Eliminar topografía” y “Eliminar diseño”

Estos submenús permiten al usuario eliminar cualquier archivo de topografía o diseño. Si usted borra el archivo que corresponde a una topografía o diseño abierto, se borra el archivo pero la información se mantiene en la ventana (como no guardada <unsaved>). Al usar los sub-menús “Guardar” o “Guardar como” se volverá a crear el archivo.

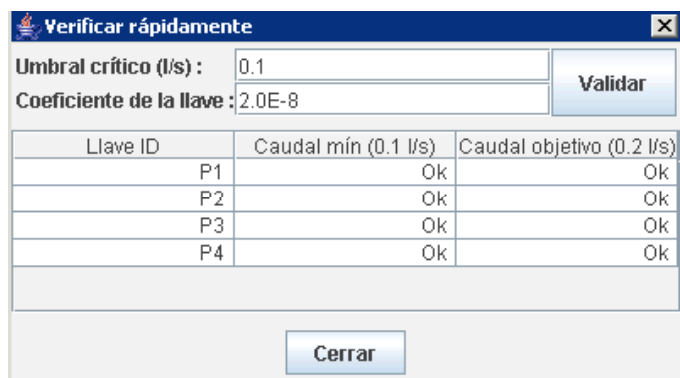
## Menú “Topografía”

Este menú aparece sólo cuando se abre un archivo de topografía y se activa la ventana (lengüeta) correspondiente.

### Submenú “Verificar rápidamente”

“Verificar rápidamente” verifica si hay suficiente altura de presión para compensar las pérdidas debidas sólo a las llaves con los caudales especificados. Antes de usar este submenú usted debe especificar los caudales requeridos en las llaves y la constante que define las pérdidas en las llaves como función del caudal. Una vez que se han especificado estas dos cantidades la tabla indicará cuál llave, si es que alguna, podría fallar, a) con un caudal mínimo especificado; b) con el caudal requerido u objetivo. Es evidente que la restricción es necesaria pero no suficiente puesto que es inevitable que haya pérdidas en las tuberías a menos que no se limiten los diámetros de éstas.

En el ejemplo siguiente no se detectó ningún problema con un caudal umbral de 0.1 l/s y un coeficiente de la llave de 2.0E-8:



Llave ID	Caudal mín (0.1 l/s)	Caudal objetivo (0.2 l/s)
P1	Ok	Ok
P2	Ok	Ok
P3	Ok	Ok
P4	Ok	Ok

Usted puede cambiar el umbral y el coeficiente de la llave. (no se olvide de apretar el botón “Aplicar”.) La tabla siguiente muestra un problema previsible en los nodos P1 y P2 para un umbral de 0.5 l/s (valor que, en la práctica, es demasiado alto), pero el caudal objetivo de 0.2 l/s no presenta ningún problema.

**Verificar rápidamente**

Umbral crítico (l/s) : 0.5

Coefficiente de la llave : 2.0E-8

**Validar**

Llave ID	Caudal mín (0.5 l/s)	Caudal objetivo (0.2 l/s)
P2	No	Ok
P3	Ok	Ok
P1	No	Ok
P4	Ok	Ok

**Cerrar**

### Submenú “Resumen de la red”

Este submenú resume de un vistazo las características principales de la topografía.

**Información de la topografía**

Nombre de la topografía: BaseExample

Número de nodos: 8

- Nodos ramales: 3
- Nodos llaves: 4 (con 7 llaves individuales)

Cambio de la altura total: 20 m

Número de tubos: 7

Longitud total: 911 m

**Cerrar**

### Submenú “Reporte en HTML”

El submenú Reporte en HTML sirve para registrar las especificaciones completas de la topografía en el lugar de su elección en el disco y para adjuntarlas para transmisión en formato HTML. El submenú abre una ventana que da acceso a la carpeta en la que usted quiere guardar los datos en formato html.

**Enregistrer**

Enregistrer dans : SampleNetwork

SampleNetwork.0.sim

SampleNetwork.dsg

SampleNetwork.tpo

SampleNetwork2.dsg

Nom de fichier :

Fichiers du type : Tous les fichiers

**Enregistrer** **Annuler**

Déle un nombre al archivo. (NeatWork agregará automáticamente el sufijo “.html”). El archivo html (una parte de él) se ve como sigue

## Reporte de la topografía:SampleNetwork

### Lista de nodos

ID	Altura	X	Y	Llaves	Tipo
Source	0.0	0.0	0.0	0	TANQUE
A	-10.0	0.0	0.0	0	RAMAL
B	-15.0	0.0	0.0	0	RAMAL
C	-20.0	0.0	0.0	0	RAMAL
P2	-9.0	0.0	0.0	3	LLAVE
P3	-18.0	0.0	0.0	2	LLAVE
P1	-12.0	0.0	0.0	1	LLAVE
P4	-50.0	0.0	0.0	1	LLAVE

### Lista de segmentos (arcos)

Comienza	Termina	Longitud
Source	A	20.0
A	B	50.0
A	C	70.0
B	P2	8.0
C	P3	9.0
B	P1	12.0
C	P4	11.0

## Resumen

**Número de nodos:**8

*Nodos ramales:* 3

*Nodos llaves:*4 (con 7 llaves individuales)

**Cambio total de la altura:** 50 m

**Número de tubos:** 7

**Longitud total:** 180 m

Fri Mar 04 11:47:27 CET 2005

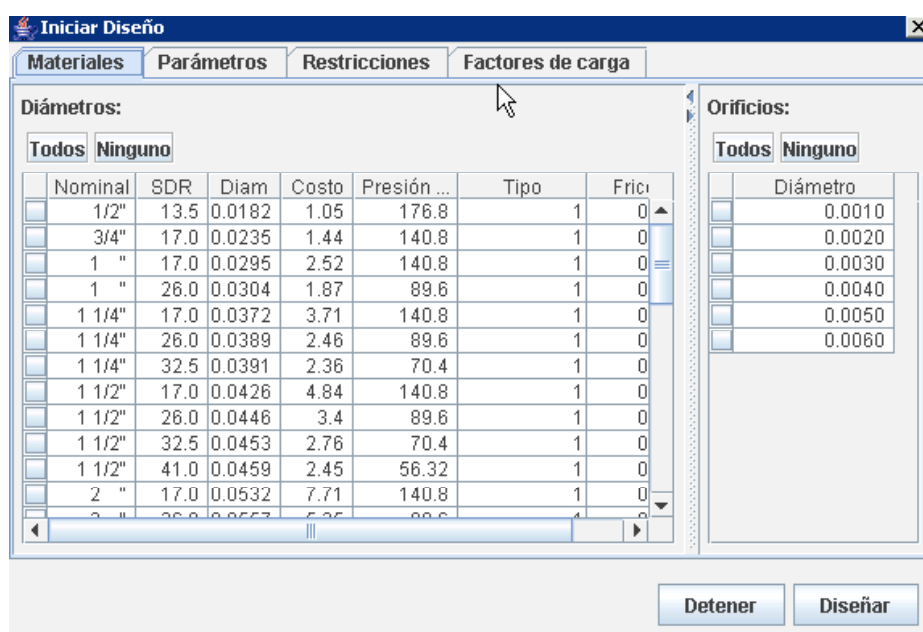
Un archivo html puede ser abierto con cualquier navegador. También se puede abrir con Microsoft Word y Excel. Este último tiene la ventaja de que las dos tablas aparecen en Excel. Uno puede editarlas y pegarlas de nuevo en NeatWork. (si usted desea copiar la tabla de nodos de este archivo y volver a pegarla en NeatWork, recuerde de reemplazar “Tanque”, “Nodo Ramal” y “Nodo Llave” con 0, 1 y 2, respectivamente.)

## Submenú “Iniciar Diseño”

El submenú “Iniciar Diseño” abre una ventana asociada con la topografía activa. La ventana muestra cuatro lengüetas en su zona superior: “Materiales”, “Parámetros”, “Restricciones”, y “Factores de carga”. Ahora las revisamos.

### Materiales

Esta ventana muestra la base de datos actual (vale decir, aquella por defecto o la que usted ha editado).



Aquí es donde usted especifica cuáles tuberías y orificios están efectivamente disponibles. La manera más rápida de proceder es hacer clic en el botón “Todos”. En caso contrario seleccione solo los disponibles. Por esta razón es que no aconsejamos cargar su base, al principio, de datos con tuberías y orificios que generalmente no estarán disponibles.

### Parámetros

Esta ventana abre un listado que muestra 8 parámetros a definir para su diseño.



**Iniciar Diseño**

Materiales **Parámetros** Restricciones Factores de carga

Reiniciar Validar

- Iniciar los parámetros de diseño

Fracción de llaves abiertas: 0.4

Calidad del servicio: 0.6

Caudal objetivo (l/s): 0.2

Límites del presupuesto: 1.0E9

- Constantes físicas

Temperatura del agua (°C): 20.0

Longitudes comerciales de la tubería(m): 6.0

- Parámetros avanzados

Coeficiente del orificio: 0.59

Coeficiente de la llave: 2.0E-8

Detener Diseñar

Una vez que se han definido los valores de todos los parámetros usted debe hacer clic en la marca verde de chequeo y, de este modo, el programa usará los nuevos valores en lugar de aquellos por defecto.

Revisemos estos parámetros.

### Fracción de llaves abiertas

Ésta es la mayor fracción admisible de llaves abiertas (durante el pico de uso) que servirá para el diseño. Usted define este número (junto con el caudal medio deseable en las llaves) sobre la base de sus normas de uso en el período pico (vea “Capacidad y uniformidad del sistema” en la Introducción: “Características claves para el diseño y la simulación”). Después, en la fase de simulación, usted puede investigar lo que sucede cuando la fracción de llaves abiertas es la misma, o mayor o menor, que este número.

### Calidad de servicio

Éste es el factor discutido en la Introducción. Mientras mayor sea este valor más generosa deberá ser la asignación de diámetros de las tuberías intermedias entre los segmentos inicial y final, y del mismo modo, para un caudal objetivo dado, mayor será el caudal medio en las llaves, en general. En el apéndice, sección A, se presenta una discusión más profunda del significado de la calidad de servicio, lo mismo que de los factores de carga.

Una buena sugerencia es partir con un valor como 0.6.

### Caudal objetivo

Éste es el caudal medio en las llaves que debiera entregar el optimizador. (Lo que no es necesariamente igual al caudal medio obtenido en la simulación.)

### Límites del presupuesto

Si su presupuesto adolece de muchas limitaciones, usted puede imponerle una restricción al costo del diseño. En ese caso, NeatWork propondrá un diseño que satisfará esa restricción y también las restricciones de operación de la mejor manera posible. Naturalmente que la performance <desempeño> va a ser afectada.

## Temperatura del agua

Ésta determina la viscosidad del agua, la que afecta las pérdidas de altura en las tuberías. En la práctica basta usar un solo valor en una región dada. Sin embargo, la diferencia entre regiones de climas muy distintos (por ejemplo, Nepal y Nicaragua) tiene un efecto apreciable sobre las pérdidas de altura.

## Longitudes comerciales de de la tubería

El módulo de optimización suele dividir un segmento en dos, asignándoles diámetros distintos a cada subsegmento. En ese caso, al menos uno de los dos subsegmentos contiene un número entero de largos de tubería.

## Coeficiente del orificio

Ésta es la constante que determina la relación entre las pérdidas de altura en el orificio, el caudal a través de él y su diámetro. En principio, ese coeficiente debiera ser fijo puesto que la razón entre el diámetro del orificio y el diámetro del diafragma es grande. Pero la geometría del agujero pequeño puede afectar esta constante, y el diseñador debiera tener más confianza en su propio valor de la constante que en un valor ajeno, aunque los datos son todavía escasos. El valor dado por defecto debiera ser razonablemente cercano.

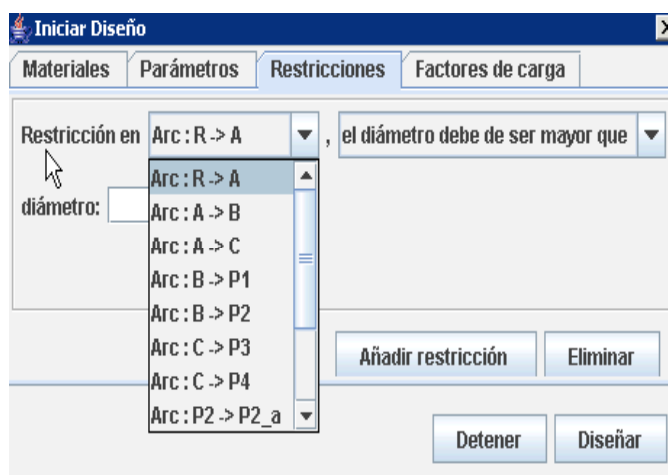
## Coeficiente de la llave

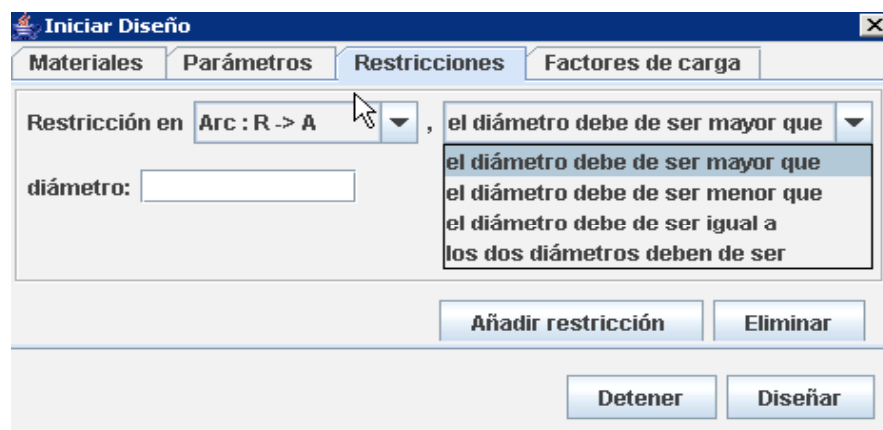
Éste es un parámetro importante cuando la llave descarga a presión atmosférica (lo que sucede habitualmente). Su valor depende del tipo de llaves que se usen. (Ver el Apéndice para determinar este coeficiente, en caso que usted no lo conozca). El programa supone que todas las llaves son iguales para una red de distribución dada (en el Apéndice Técnico se señala cómo proceder si ése no es el caso).

## Restricciones

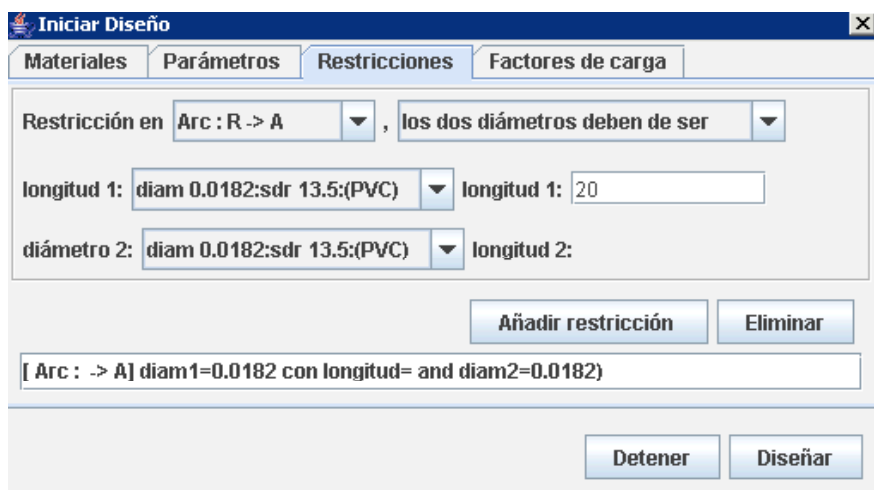
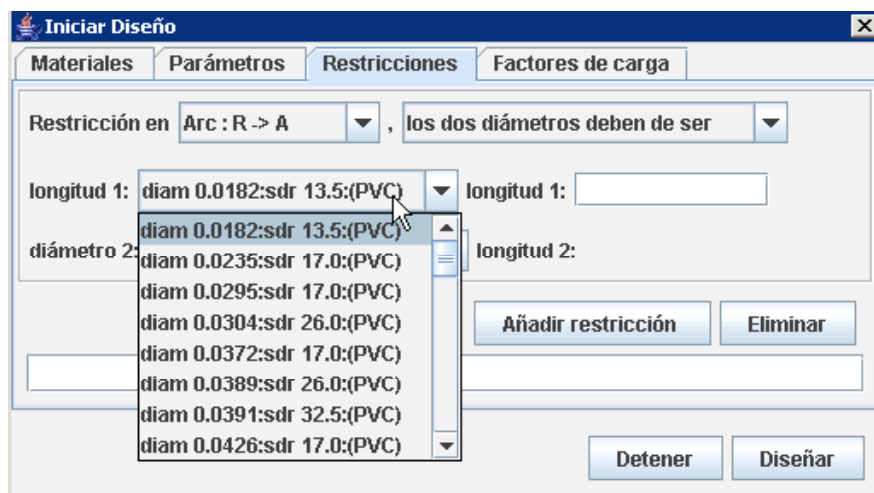
Si los diámetros de las tuberías de algunos segmentos ya han sido fijados (como sucede en el caso de la ampliación de una red de distribución existente), usted querrá que el programa se ajuste a esta opción. Esto puede servir, por ejemplo, al modificar una red existente.

Seleccione primero el segmento correspondiente en el menú, y luego seleccione el tipo de restricción que usted desea satisfacer.





El segundo menú ofrece cuatro opciones. Las tres primeras suponen que usted usa el mismo tipo de tubería para el segmento, ya sea con un diámetro mayor, menor o igual al diámetro que usted eligió dentro de la lista de diámetros disponibles (¡es la opción más fácil!). La última opción le permite usar dos diámetros distintos, en serie, para el mismo segmento.



Fije la longitud de la tubería de tipo 1. Entonces, sencillamente por diferencia, el programa computará automáticamente la longitud de la tubería de tipo 2. Recuerde de hacer clic en “Añadir restricción” para validar su elección. Usted puede repetir la operación si necesita manejar varias restricciones. Y también puede eliminar algunas restricciones.

**Iniciar Diseño**

**Restricciones**

Restricción en **Arc : R -> A**, **los dos diámetros deben de ser**

longitud 1: **diam 0.0182:sdr 13.5:(PVC)** longitud 1: **20**

diámetro 2: **diam 0.0182:sdr 13.5:(PVC)** longitud 2:

**Añadir restricción** **Eliminar**

[ Arc : -> A] diam1=0.0182 con longitud= and diam2=0.0182)

**Detener** **Diseñar**

### Factor de carga

Al hacer Clic en la cuarta y última lengüeta se accede a la siguiente ventana:

**Iniciar Diseño**

**Factores de carga**

**Factores de carga:**

Comie...	Termina	N°de llaves	Factor de carga pre...	Factor de carga mo...
R	A	7	3.18	3.18
A	B	4	1.99	1.99
A	C	3	1.62	1.62
B	P2	3	1.62	1.62
C	P4	2	1.26	1.26
B	P1	1	1.0	1.0
P2	P2_a	1	1.0	1.0
P2	P2_b	1	1.0	1.0
P2	P2_c	1	1.0	1.0
C	P3	1	1.0	1.0
P4	P4_a	1	1.0	1.0

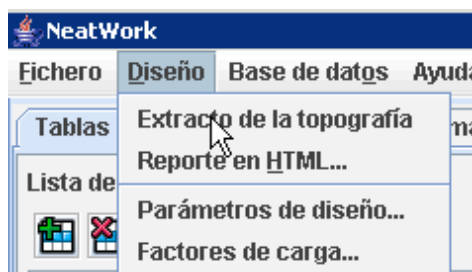
**Detener** **Diseñar**

Las primeras dos columnas identifican cada segmento por sus extremos. La tercera da el número de llaves aguas abajo del segmento en cuestión. La cuarta columna, (de los factores de carga predeterminados) es computada por el programa a partir de los valores elegidos para “Calidad del Servicio”, mientras que la quinta columna le permite a usted modificar (más tarde, después de la simulación) el factor de carga para cada segmento individual, de acuerdo a las necesidades locales (de esta manera la calidad de servicio se hace dependiente del segmento).

Una vez definido todos los parámetros, actúe sobre la opción diseñar. Esta última se encuentra en la parte inferior derecha de la ventana.

## Menú “Diseño”

Este menú se aplica a un diseño existente. Usted debe optar por abrir un archivo de diseño existente (por ejemplo, `BaseExample.sim`) o iniciar un nuevo diseño y **guardarlo**. El menú aparece sólo cuando se activa la ventana (lengüeta) correspondiente.



### Extracto de la topografía

Esta acción rescata la topografía en que se basa el diseño. Ella abre la ventana correspondiente.

### Reporte en HTML

Con este submenú usted puede generar un informe con la información de diseño en formato HTML. Aquí revisamos rápidamente los segmentos de este archivo cuando se abre en Excel. La “Lista de Nodos” se ve así:

#### Lista de nodos

ID	Altura	X	Y	Orificio Ideal	Orificio comercial	Tipo
R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	TANQUE
A	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	RAMAL
B	-15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	RAMAL
C	-20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	RAMAL
P2	-12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	RAMAL
P4	-19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	RAMAL
P1	-9.0	0.0	0.0	0.01777758	10000.0	LLAVE
P2_a	-12.0	0.0	0.0	0.0116848	10000.0	LLAVE
P2_b	-12.0	0.0	0.0	0.0116848	10000.0	LLAVE
P2_c	-12.0	0.0	0.0	0.0116848	10000.0	LLAVE
P3	-18.0	0.0	0.0	0.007499	0.0060	LLAVE
P4_a	-19.0	0.0	0.0	0.01328966	10000.0	LLAVE
P4_b	-19.0	0.0	0.0	0.01328966	10000.0	LLAVE

La lista de arcos se ve así:

Comienza	Termina	Longitud	Longitud1	Diam1	Longitud2	Diam2
R	A	400.0	262.0	D001	138.0	D002
A	B	50.0	50.0	D002	0.0	0
A	C	250.0	250.0	D003	0.0	0
B	P2	80.0	72.0	D003	8.0	D004
C	P4	110.0	102.0	D003	8.0	D004
B	P1	12.0	12.0	D004	0.0	0
P2	P2_a	1.0	1.0	D004	0.0	0
P2	P2_b	1.0	1.0	D004	0.0	0
P2	P2_c	1.0	1.0	D004	0.0	0
C	P3	9.0	9.0	D004	0.0	0
P4	P4_a	1.0	1.0	D004	0.0	0
P4	P4_b	1.0	1.0	D004	0.0	0

Note que las tuberías se identifican como D001, D002, etc. Este programa asigna estos identificadores. La tabla siguiente muestra la correspondencia entre el nuevo identificador "Ref" y el tipo de tubería.

Ref	Nominal	SDR	Diámetro Interno	Costo unitario	Presión Máxima	Tipo	Fricción	Longitud total	Costo total
D001	1 1/2"	41.0	0.0459	2.45	56.32	1	0.0015	262.0	641.90
D002	1 "	26.0	0.0304	1.87	89.6	1	0.0015	188.0	351.56

La sección de resumen entrega el resto de la información:

**Costo del proyecto:1648**

**Ajuste de parámetros globales**

Temperatura del agua (°C) : 20.0

Longitudes comerciales de la tubería (m) : 6.0

**Design Parameter**

Fracción de llaves abiertas : 0.4

Calidad del servicio : 0.6

Caudal objetivo (l/s) : 0.2

Límites del presupuesto : 1.0E9

**Ajuste de parámetros avanzados**

Coefficiente del orificio : 0.59

Coefficiente de la llave : 2.0E-8

**Estructura**

**Número de nodos:13**

*Nodos ramales: 5*

*Nodos llaves:7 (Con 0 llaves individuales)*

**Cambio total de la altura: 20 m**

**Número de tubos:** 12

**Longitud total:** 916 m

*Nodos llaves:* 7 (Con 12 llaves individuales)

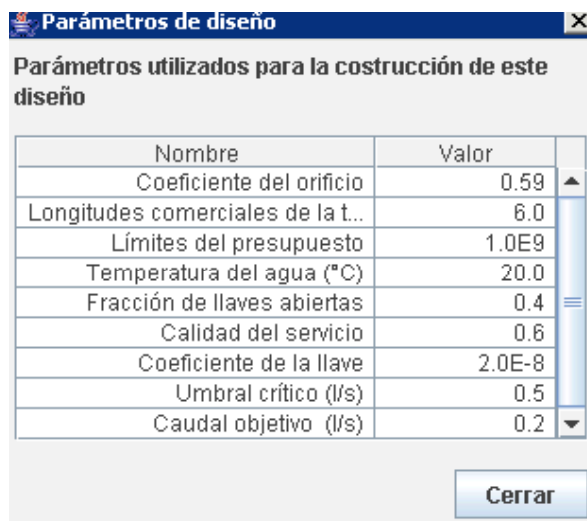
**Cambio total de la altura:** 20 m

**Número de tubos:** 12

**Longitud total:** 916 m

## Parámetros de diseño

Este menú abre una ventana que resume los parámetros usados al iniciar el diseño.

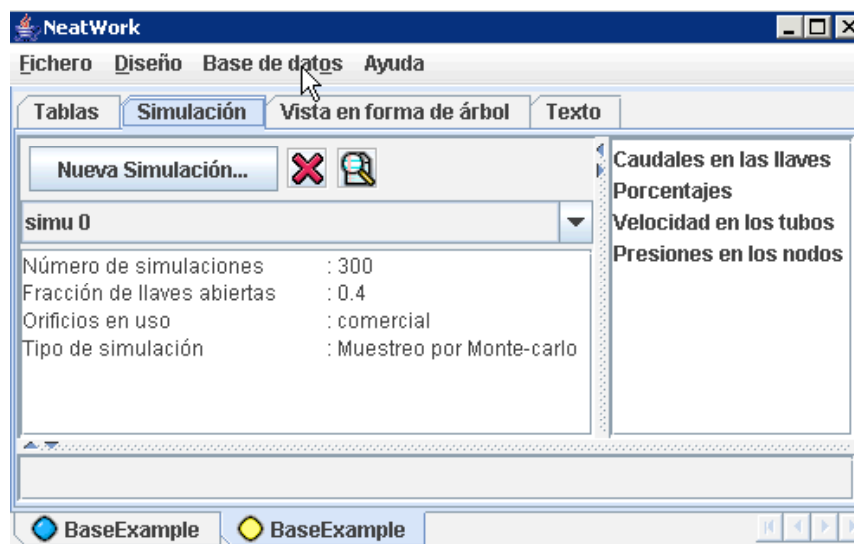


## Simulación




A esta importante parte del programa se accede desde la ventana de un diseño a través de la segunda lengüeta. La simulación de los caudales de las llaves se lleva a cabo sobre el diseño que está actualmente abierto. Note que usted debe guardar el diseño antes de efectuar las simulaciones.

El módulo de simulación selecciona un conjunto de llaves al azar y computa los caudales en todas las ramas de la red para esta configuración de llaves abiertas y cerradas. Esta operación se repite el número de veces que ha sido especificado por el usuario.


Al hacer clic en la lengüeta de simulación se abre la siguiente ventana:

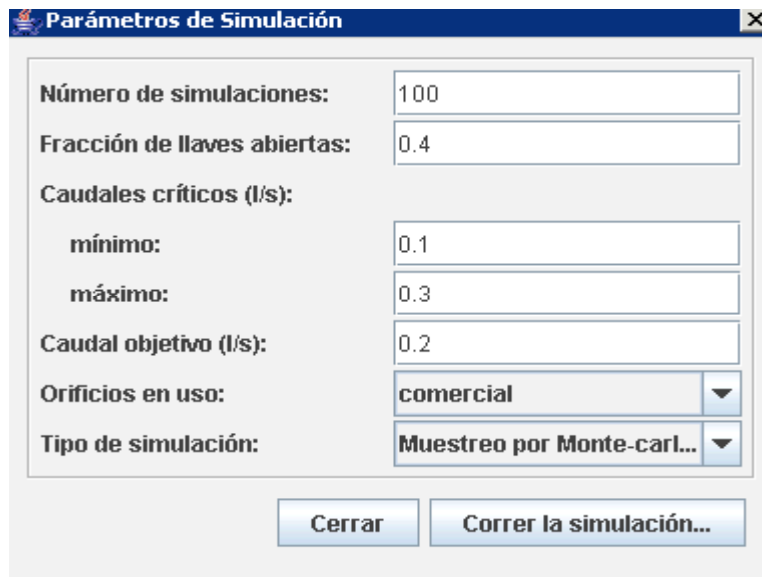


A los comandos principales se accede mediante botones

-  Haciendo clic en este botón se abre una ventana con los parámetros de simulación.
-  Elimina la simulación actual.
-  Crea un reporte en formato HTML de la simulación actual.

## Parámetros de simulación

Haga clic en . Esto abre una tabla que muestra los parámetros de simulación:



La imagen muestra una ventana de software titulada "Parámetros de Simulación". Contiene los siguientes campos y controles:

Número de simulaciones:	100
Fracción de llaves abiertas:	0.4
Caudales críticos (l/s):	
mínimo:	0.1
máximo:	0.3
Caudal objetivo (l/s):	0.2
Orificios en uso:	comercial
Tipo de simulación:	Muestreo por Monte-carl...

En la parte inferior de la ventana hay dos botones: "Cerrar" y "Correr la simulación..."

### Número de simulaciones

Éste depende del número de llaves en el sistema. Mientras más llaves hayan, mayor será el número de simulaciones al azar que usted debiera especificar. Y aunque el número posible de combinaciones de llaves abiertas puede ser enorme<sup>1</sup>, usted necesita seleccionar mucho menos combinaciones al azar para obtener resultados estadísticamente significativos. La razón es que las combinaciones faltantes pueden incluir algunas que, a pesar de dar un caudal muy diferente en una llave en particular, ese evento será muy raro y, por tanto, poco importante.

### Fracción de llaves abiertas

Esta fracción no tiene que ser, necesariamente, la misma elegida para el diseño. Sin embargo, normalmente usted iniciará su simulación con esa misma fracción para verificar cuán bien sirve su diseño para sus objetivos, y luego investigará cómo se comporta el sistema con una fracción diferente (mayor o menor) de llaves abiertas.

---

<sup>1</sup> El número de combinaciones de 8 llaves abiertas en una red con 20 llaves es 125,970.



### Caudales críticos

Esto no afecta a la simulación misma. Sencillamente, usted elige un límite superior y otro inferior aceptables para los caudales de las llaves y la simulación computa el porcentaje de veces que estos límites son excedidos.

### Caudal objetivo

El valor escogido es sólo un ayudamemoria del valor elegido para el diseño. No tiene ningún efecto en la simulación.

### Tipo de orificios a utilizar

Se debe elegir entre *ideal* o *comercial*. Se elige “*Comercial*” para comprobar cómo se comportaría un diseño real. En cambio, conviene elegir “*ideal*” cuando quieres saber si un desempeño insatisfactorio se debe principalmente a una variedad insuficiente de orificios para elegir, (o sea, si agregando un orificio de tamaño diferente se podría mejorar significativamente la performance).

### Tipo de simulación

Este submenú ofrece tres alternativas: *Muestreo por Monte-Carlo* (es lo habitual), *Llaves individuales* (una llave a la vez), y *Simulación Definida por el usuario*.



Si usted elige *Definida por el usuario*\*, haga clic en *Correr simulación* y se le pedirá seleccionar cuáles llaves deberán abrirse haciendo clic en las cajas apropiadas.



Usted es libre de elegir cualquier combinación de llaves abiertas y cerradas.

### Resultado de la simulación

Al hacer clic en el botón “Correr simulación” se inicia la secuencia de simulación. Al terminar, los resultados de las simulaciones se entregan en cuatro tablas. Ellas son *Caudales en las llaves*, *Porcentajes en las llaves*, *Velocidad en la tubería* y *Presiones en los nodos*.

### Caudales en las llaves

La tabla de caudales en las llaves tiene nueve columnas. La primera identifica las llaves. Aquí cabe notar que si un nodo terminal está equipado con varias

llaves, la tabla listará en forma separada las estadísticas de caudal cuando se abren simultáneamente una, dos, tres, .... llaves.

Llave	N°de ocur...	Min	Media	Max	Variabilidad	< 0.1	> 0.3	N°de fallas
Media global			0.115			50%	0%	0
P1	1	0.0686	0.0686	0.0686	0%	100%	0%	0
P2_1	0	0.0	0.0	0.0				0
P2_2	0	0.0	0.0	0.0				0
P2_3	1	0.0944	0.0944	0.0944	0%	100%	0%	0
P3	1	0.1701	0.1701	0.1701	0%	0%	0%	0
P4_1	0	0.0	0.0	0.0				0

Por ejemplo, el terminal P2 tiene 3 llaves; la columna de identificación define como P2\_1 los casos en que sólo 1 de las 3 llaves P2 está abierta, P2\_2 para el caso en que dos de las llaves P2 están abiertas simultáneamente, y P2\_3 para los casos en que las tres llaves P2 están abiertas simultáneamente.

La segunda columna lista el número de veces en que las llaves identificadas estuvieron abiertas (No. de ocurrencias). La razón entre ese número y el número total de llaves debería, en el caso de llaves solas, oscilar alrededor de la fracción de llaves. Para el caso de llaves múltiples, y cuando sólo una de esas llaves está abierta, el \*número de simulaciones será probablemente mayor que dicha razón, mientras que si todas esas llaves están abiertas simultáneamente esa razón será menor, y ocasionalmente puede ser nula. (en la tabla anterior las tres llaves en P2 fueron abiertas simultáneamente sólo 4 veces de un total de cien simulaciones). De este modo, en tal caso se recomienda un número mayor de simulaciones.

Las tres columnas siguientes dan respectivamente los caudales mínimo, medio y máximo alcanzados en una llave dada durante la simulación. La columna siguiente da la variabilidad del caudal, esto es, el cociente entre la desviación estándar y la media. Las dos columnas siguientes indican el porcentaje de casos en que el caudal en una llave dada fue menor que el mínimo seleccionado o mayor que el máximo seleccionado, respectivamente. La última columna indica el número de veces que la llave del caso dio caudal nulo al ser abierta, (estos casos se denomina fallas).

### Porcentajes en las llaves

La primera, segunda, tercera y última columnas repiten información dada en la tabla *Caudales en las llaves*. Las cinco columnas restantes dan los caudales máximos encontrados los siguientes rangos inferiores de porcentajes de casos: 10%, 25%, 50%, 75% and 90%.

The screenshot shows the NeatWork software window with the 'Simulación' tab selected. It displays a table of simulation results for 'simu 3'. The table includes columns for flow rate (Llave), number of occurrences (N° de ocur.), minimum value (Min), and cumulative distribution percentages (<10%, <25%, <50%, <75%, <90%, Max). The data is as follows:

Llave	N° de ocur...	Min	<10%	<25%	<50%	<75%	<90%	Max
P1	1	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686	0.0686
P2_1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2_2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P2_3	1	0.0944	0.0944	0.0944	0.0944	0.0944	0.0944	0.0944
P3	1	0.1701	0.1701	0.1701	0.1701	0.1701	0.1701	0.1701
P4_1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
P4_2	1	0.1268	0.1268	0.1268	0.1268	0.1268	0.1268	0.1268

Esta tabla entrega una información más rica que la precedente. Para cada llave, cada columna señala un punto de la función de distribución (acumulada) de caudales. (Para graficar esta función usted debería sacar la información directamente del archivo <name>.sim. Vea la sección sobre uso avanzado de NeatWork.)

### Velocidad en la tubería

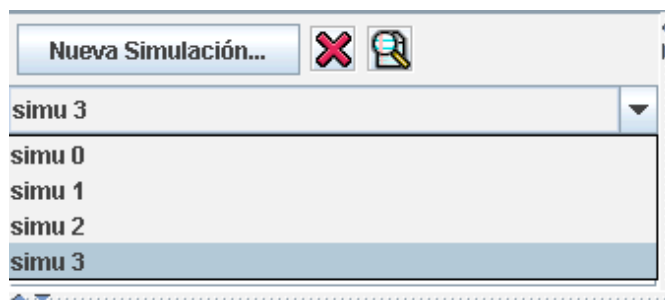
NeatWork computa los valores medio y máximo de las velocidades en cada tubería sobre el conjunto de las configuraciones.

### Presiones en los nodos

NeatWork computa los valores mínimo, promedio y máximo de las presiones en cada nodo sobre la muestra de configuraciones.

### Revisión de simulaciones

Al hacer clic en cualquier parte de la caja que contiene “simu 0” se abre un submenú que muestra la lista de las simulaciones realizadas para un mismo diseño. Usted puede seleccionar cualquiera de estas simulaciones y revisar sus estadísticas.



## D – Para hacer que funcione



### 1. Iniciar y mejorar el diseño

Puesto que la identidad de las llaves abiertas no se conoce (a menos que estén todas abiertas simultáneamente), usted debe recordar que el diseño no ha satisfecho las ecuaciones de conservación del caudal en cada nodo de partición excepto en un sentido estadístico. Para una configuración dada de llaves abiertas y cerradas los caudales reales en la red pueden diferir de aquellos que fueron usados por el programa en la fase de diseño.

Para lograr un diseño satisfactorio usted tendría que recorrer algunos o todos los pasos que se resumen en las secciones siguientes.

#### Cree su base de datos propia

Al ser activado, NeatWork abre dos archivos de bases de datos

 diameters.db	2 KB	DB File	02.08.2004 12:23
 orifices.db	1 KB	DB File	02.08.2004 12:20

que están contenidos en la carpeta “db”. Edite estos archivos (o cree otros nuevos) para que ellos se ajusten a sus necesidades. Recuerde que NeatWork sólo reconoce los dos nombres `diameters.db` y `orifices.db`. NeatWork ignorará cualquier otro nombre con el sufijo “.db”. Si usted quiere guardar el archivo actual `diameters.db` y crear uno nuevo, basta que modifique el nombre, por ejemplo, a `diametersbk.db`.

#### Para iniciar un diseño nuevo

Para esto se debe abrir un archivo de topografía. (si hay varias topografías abiertas, el comando se aplica a la ventana activa.) Al hacer clic en *Iniciar Diseño* en el menú “Topografía” se abre una ventana con cuatro lengüetas: *Materiales*, *Parámetros*, *Restricciones* y *Factores de carga*.

En la ventana *Materiales* usted puede recuperar las bases de datos de tuberías y orificios creadas anteriormente. Aquí es donde usted especifica las tuberías y orificios que están efectivamente disponibles. La manera más rápida de proceder es hacer clic en la caja completa y desactivar los casos no disponibles.

En el caso de la ventana *Parámetros*, hay dos tipos de categorías de estos. En la primera, se agrupan los elementos que usted quiere variar para encontrar un “buen” diseño: *Fracción de llaves abiertas*, *Caudal objetivo*, *Calidad del servicio* y *Límite del presupuesto*. En la segunda categoría usted encuentra los parámetros que valen en general para todos los proyectos en un área dada.

(*Temperatura del agua*, *longitudes comerciales del tubo*, *coeficiente del orificio* y *coeficiente de la llave*.) Probablemente usted quiere definirlos ahora y dejarlos fijos.

Existen varias estrategias para asignar valores iniciales convenientes a los parámetros de diseño. En principio, debieran asignarse valores coherentes con

sus objetivos a la *Fracción de llaves abiertas* y al *Caudal objetivo*. En tal caso, la *Calidad de Servicio* puede elegirse razonablemente como 0.60 o 0.65. (Otra alternativa es partir con un valor bastante mayor como 0.75 y usar como caudal objetivo uno igual o ligeramente inferior al caudal medio deseado. (Un valor elevado de *Calidad de Servicio* tiende a aumentar los caudales).

En general, al crear un primer diseño, usted no debiera activar las lengüetas *Restricciones* y *Factores de Carga*.

Una vez que usted ha completado su selección de condiciones para el diseño, haga clic en *Diseñar*. Antes de entregar toda la información sobre el diseño, NeatWork abre la siguiente ventana:

Nodo ID	Altura	Pérdida de presión estimada	Problema potencial
R	0.0	0.0	0.0
A	-10.0	5.67	0.0
B	-15.0	6.37	0.0
C	-20.0	14.03	0.0
P2	-12.0	9.69	0.0
P4	-19.0	16.8	0.0
P1	-9.0	6.95	0.0
P2_a	-12.0	9.74	0.0
P2_b	-12.0	9.74	0.0
P2_c	-12.0	9.74	0.0
P3	-18.0	14.47	0.0
P4_a	-19.0	16.84	0.0
P4_b	-19.0	16.84	0.0

Cerrar

en la que usted puede visualizar las pérdidas de presión que se esperan en cada nodo bajo condiciones de operación normales. Esta pérdida de presión debería ser menor que la altura del nodo con signo menos (recuerde que la altura se mide en relación a la elevación del tanque, que es el punto más alto de la red), si la pérdida de presión es muy cercana (o superior) al cambio de elevación (con signo menos), la última columna va a dar cuenta de una situación potencialmente problemática.

Después de hacer clic en cerrar, aparece una nueva ventana. Guarde el diseño vía el menú "Guardar" (NeatWork creará un nuevo archivo con el mismo nombre de la topografía pero con la extensión .dsg); o vía el menú "Guardar como" (en tal caso, se le pedirá que le dé nombre al nuevo archivo).

## Para verificar la performance

Recuerde que usted ignora la identidad de las llaves abiertas (a menos que estén todas abiertas al mismo tiempo) y, por tanto, el diseño no ha satisfecho las ecuaciones de continuidad del caudal, salvo en un sentido estadístico. Usted debe, en consecuencia, verificar las dos cuestiones siguientes:

- que el rango de caudales para cada llave satisface sus criterios,
- y que el diseño no es más caro de lo indispensable.

Para esto se requiere usar el módulo de simulación con el diseño que usted acaba de producir (o con otro diseño), que aplicará las ecuaciones de

continuidad de caudales en todos los ramales para un número suficiente de alternativas de llaves abiertas elegidas al azar.

Después de iniciar el diseño y correr la simulación correspondiente a ese diseño usted obtiene el caudal medio resultante y puede observar las variaciones de caudal.

### ***Calidad de servicio***

Si las variaciones de caudal están dentro de un rango aceptable, usted puede bajar la calidad de servicio y predecir sus efectos sobre el caudal ajustando adecuadamente el caudal objetivo. Estos cambios producen un nuevo diseño que requiere la correspondiente simulación. Usted debe proceder gradualmente, repitiendo estos pasos hasta que las variaciones de caudal entregadas por las simulaciones caigan dentro de las normas de variación aceptables (porque el caudal medio está cerca del deseado). Como alternativa, usted puede elegir bajar más la calidad de servicio, de modo que un número relativamente pequeño de llaves presenten variaciones de caudal inaceptables (y que incluso, en algunos casos, tengan caudal nulo) y usted use los ajustes locales (que se discuten más adelante) para corregir esas deficiencias.

### ***Caudal objetivo***

El caudal relevante para el diseño es el caudal medio que resulta de la simulación. El caudal objetivo es ese caudal al que el diseño óptimo trata de aproximarse. Y si bien estos dos valores pueden ser relativamente próximos, el caudal objetivo debería ser tratado como parámetro de ajuste con el fin de usarlo como meta del caudal medio apropiado para la simulación.

## **Para mejorar el diseño**

### **Use la herramienta “Iniciar Diseño”**

Según el resultado de la simulación usted puede necesitar probar un nuevo diseño usando el módulo para optimizar el diseño o bien modificar el diseño que acaba de obtener sin la ayuda del optimizador. Hay varios caminos para llegar al diseño óptimo que se enumeran más adelante.

Como punto de partida usted puede a) quedar satisfecho con la performance de su diseño, pero plantearse si es posible trabajar con un costo menor, o b) estar insatisfecho con la performance, y lo típico es que haya algunas llaves con caudales insuficientes o excesivos. Las opciones son similares en ambos casos y son las siguientes (sin implicar ningún orden de preferencia):

1. Aumentar o disminuir los valores de calidad del servicio y repetir la fase de diseño. Este parámetro es discutido en más detalle en la sección sobre “características avanzadas”. En resumen, mientras mayor es este valor, más generosa es la asignación de todos los diámetros entre la salida del tanque y las últimas secciones que sirven las llaves. Esto tenderá a incrementar los caudales en todas las llaves pero no de manera uniforme. Si usted mantiene fija la fracción de llaves abiertas deberá, en consecuencia, disminuir al mismo tiempo el caudal objetivo.

2. Repetir la fase de diseño después de haber modificado la tabla de factores de carga. Esto le permite privilegiar la asignación de diámetros en las regiones en que usted intuye que es necesario un cambio.

### Mejoramiento manual

Las opciones siguientes son modificaciones a un diseño existente que se salta el módulo de optimización pero deben ser probadas mediante simulaciones.

1. En el caso simple en que un resultado insatisfactorio en una llave es sistemáticamente muy elevado, se puede agregar un orificio o, si ya existe uno, puede disminuir su diámetro. Si el resultado es sistemáticamente demasiado bajo, se puede aumentar el diámetro del orificio existente.
2. Si usted sospecha que la mala performance se debe a una opción muy limitada de diámetros de orificio, repita la simulación con los orificios ideales. Si tal simulación resulta satisfactoria, habitualmente usted puede estimar cuáles orificios adicionales, uno o dos, le permitirán aproximarse a esa performance. El agregarlos puede ser la solución más barata (ellos pueden ser preparados fácilmente en el terreno).
3. Al usar la función *Vista en forma de árbol* para ver de qué secuencia de segmentos depende una llave dada, usted puede intentar corregir la mala performance de una o dos llaves modificando los diámetros de los segmentos vecinos que afectan a las llaves. Para que esto resulte se requiere tener alguna experiencia.
4. Si el problema se presenta en una llave muy elevada al final de una línea de distribución que sirve a muchas otras llaves, puede convenir introducir un segmento by-pass hasta esa llave. (Al hacerlo puede que se complete un circuito en anillo; o puede que no). Haciendo clic en la cruz verde (el ícono izquierdo sobre la tabla de segmentos) se introduce una nueva línea al final de esa tabla. Aquí es donde se deben especificar los nodos finales, las longitudes del nuevo segmento y el diámetro seleccionado. Y al menos que el by-pass use la misma zanja que la línea original, lo que rara vez es una buena solución, esta modificación requiere evidentemente conocer las coordenadas horizontales de los nodos. Uno puede introducir uno o más circuitos en anillo por otras razones, tales como bajar la vulnerabilidad de la red frente a roturas o pérdidas en partes de la misma.

En resumen, los últimos pasos del diseño dependerán de las preferencias personales entre las posibilidades listadas.

## 2. Características avanzadas

### Sistema de archivos

Una vez que usted ha creado y guardado una topografía bajo un nombre dado, digamos `mytopo.tpo`, en cierta carpeta, por ejemplo “myproject”, NeatWork procederá con los siguientes archivos de diseño y simulación. Todos los archivos serán guardados en la misma carpeta del archivo de la topografía original a menos que el usuario lo especifique de otra manera. Cuando NeatWork cree un diseño a partir de una topografía va a usar el nombre de la topografía y agregar la extensión apropiada “.dsg”. Así tendremos un nuevo

archivo `mytopo.dsg`. Los otros diseños que se originen en el mismo archivo de topografía serán bautizados por NeatWork: `mytopo(2).dsg`, `mytopo(3).dsg`, etc., a menos que el usuario lo especifique de otra manera. Análogamente, las sucesivas corridas de simulación a partir de un archivo de diseño, digamos `mytopo(2).dsg`, se llamarán `mytopo(2).0.sim`, `mytopo(2).1.sim`, `mytopo(2).3.sim`, etc. NeatWork no ofrece la posibilidad de dar nombres alternativos a los archivos de simulación. (Siempre es posible, por supuesto, cambiar los nombres directamente en el sistema operativo de Windows.)

## Para ampliar un diseño

NeatWork ofrece la posibilidad de optimizar el diseño de una ampliación de una red existente. La condición básica es que la red ampliada sea un árbol. Siga los siguientes pasos:

1. Abra (o cree) el archivo de topografía de la red ampliada.
2. Active el menú “Iniciar Diseño”.
3. Para cada segmento (arco) existente, use el submenú “Restricciones” (ver página 34) para entrar los datos pertinentes: longitudes y diámetros internos de las tuberías instaladas. Recuerde que cada segmento usa, a lo más, dos tipos de tuberías y, lo más frecuente, es sólo uno.
4. Haga clic en Diseñar.
5. NeatWork computa el costo material total, incluyendo el de las tuberías existentes.

## Circuitos en anillo

Al agregar un nuevo arco (segmento) en un árbol (red arborescente) se crea un circuito en anillo. Éste hace la red más robusta en caso de falla en la tubería. Sin embargo, no es fácil predecir su impacto en los caudales. La variación de flujo en las llaves servidas por el anillo no es siempre una disminución. Por otra parte, el costo de las tuberías siempre aumentará.

Para crear un circuito de anillo, parta simplemente del diseño existente y agregue las tuberías apropiadas entre pares de nodos. Usted debe especificar las longitudes de tuberías. (Por ahora, NeatWork no ofrece información gráfica para estimar las distancias entre nodos desconectados. Usted debe conseguir esta información de fuentes externas.) Note que si se agregan anillos al diseño, no se dispondrá de los esquemas para esa modificación. Recuerde que no se puede crear un diseño de una topografía que contenga un anillo (¡ni siquiera se puede guardar una topografía con un anillo!). NeatWork incluye automáticamente el costo de las tuberías de los segmentos agregados.

Para analizar el impacto de un circuito de anillo, use el módulo de simulación.

## Límites del presupuesto

Esta característica le permite buscar un diseño con buena performance a costo limitado. La experiencia le mostrará si esta característica resulta útil en la práctica.



## Calidad de servicio y factor de carga

El asunto principal al hacer un diseño es incluir el proceso aleatorio de apertura y cierre de llaves. Sería muy fácil desarrollar un diseño de costo mínimo para un sistema en el que todas las llaves estén abiertas.

Para entender los conceptos de factor de carga y calidad de servicio partamos por el caso extremo en el que el diseño debiera satisfacer el requisito de que todas las llaves estén simultáneamente abiertas. Es fácil determinar el caudal en cada ramal: suponga que hay  $n$  llaves aguas abajo de ese ramal y sea  $\phi$  el caudal objetivo en cada llave; entonces el caudal en el ramal es  $n$  veces  $\phi$ . Dado el caudal en el ramal, la pérdida por fricción en el mismo es función directa del diámetro de la tubería. El problema de encontrar el diseño de menor costo se reduce a seleccionar las tuberías adecuadas de modo que la pérdida por fricción total a lo largo de las diversas trayectorias desde el tanque a cada llave sean iguales a la pérdida en energía potencial (proporcional a la caída en elevación vertical) menos la pérdida por fricción en la llave misma.

Las condiciones operacionales reales no son tan simples. Nunca se da el caso de que estén todas las llaves abiertas simultáneamente. En las horas pico se puede esperar que, a lo más, esté abierta una fracción  $r$  de todas las llaves. Esta fracción se puede interpretar también como la probabilidad de que una llave cualquiera esté abierta en la hora pico, lo que convierte en aleatorio el proceso de abrir y cerrar llaves. En consecuencia, el caudal en cada ramal es también aleatorio.

Para resolver esta dificultad y producir un diseño tenemos que reemplazar el caudal aleatorio por algún valor típico. Cuando hay muchas llaves aguas abajo del ramal, el valor medio del caudal es una elección razonable. Pero cuando hay pocas llaves esta opción no es la adecuada. Tómese el caso extremo de una sola llave al final del ramal. Si la llave está abierta, el caudal es  $\phi$ ; si la llave está cerrada el caudal es cero. En este último caso no hay pérdidas por fricción en ninguna tubería. Por tanto, el valor adecuado es  $\phi$  y no el promedio  $r\phi$ .

De manera similar, cuando hay dos llaves dependientes, existen tres casos posibles, de 0, 1 ó 2 llaves abiertas, con probabilidades  $(1-r)^2$ ,  $2r(1-r)$  y  $r^2$  y caudales en el ramal de 0,  $\phi$  y  $2\phi$ , respectivamente. Por la misma razón que en el caso de una sola llave, un caudal nulo no es relevante para el diseño y debemos considerar que al menos habrá una llave abierta. Las probabilidades de que una o dos llaves estén abiertas, siempre que al menos una lo esté, son las probabilidades condicionadas  $2(1-r)/(2-r)$  y  $r/(2-r)$ . Para ilustrar mejor el asunto, mostramos la distribución de la probabilidad condicionada de caudal en un ramal con 6 llaves dependientes y una probabilidad igual a  $r = 0.4$  de estar abierta para cada llave.

Llaves abiertas	1	2	3	4	5	6
Caudal en el ramal	$\phi$	$2\phi$	$3\phi$	$4\phi$	$5\phi$	$6\phi$
Probabilidad condicionada	0.1958	0.3263	0.2900	0.1450	0.0387	0.0043
Probabilidad acumulada	0.1958	0.5220	0.8120	0.9570	0.9957	1

¿Qué caudal debiera elegirse para el diseño? El promedio condicionado de la distribución, a saber  $0.198 \times \phi + 0.3263 \times 2\phi + \dots$ , es una opción sensata. En este caso, eso daría  $2.517\phi$ . Sin embargo, dado que un diseño basado en esa opción no funcionaría necesariamente bien en todas las circunstancias, en la búsqueda de un buen diseño, podemos preferir seleccionar otros valores. Para

orientar la selección de valores de prueba hemos introducido el concepto de *Calidad de servicio*. Para ilustrarlo, supóngase en el ejemplo anterior que el caudal de diseño es fijado en  $3\phi$ . Mirando la tabla de la distribución de probabilidades condicionadas, comprobamos que el valor  $3\phi$  es suficientemente grande para cubrir la “demanda de caudal” el 81% de las veces. Decimos entonces que la calidad de servicio de  $3\phi$  es 0.81.

Y puesto que es probable que queramos elegir un caudal intermedio entre dos valores discretos, digamos entre  $2\phi$  y  $3\phi$ , definimos la calidad de servicio mediante interpolación lineal. Recíprocamente, si decidimos imponer una calidad de servicio de 0.7, el caudal correspondiente será

$$2\phi + \frac{0.7 - 0.522}{0.821 - 0.522}\phi = 2.61\phi.$$

Designamos como *factor de carga* al coeficiente 2.61 que aparece en el lado derecho de la ecuación.


La calidad de servicio es un parámetro a elección del usuario en NeatWork. Cuando usted hace clic en “Start Design” aparece la ventana

La calidad de servicio seleccionada es 0.6. NeatWork computa automáticamente el factor de carga en cada ramal y lo muestra en la ventana “Factores de Carga”.

**Iniciar Diseño**

**Materiales** **Parámetros** **Restricciones** **Factores de carga**

**Factores de carga:**



Comie...	Termina	N°de llaves	Factor de carga pre...	Factor de carga mo...
R	A	7	3.18	3.18
A	B	4	1.99	1.99
A	C	3	1.62	1.62
B	P2	3	1.62	1.62
C	P4	2	1.26	1.26
B	P1	1	1.0	1.0
P2	P2_a	1	1.0	1.0
P2	P2_b	1	1.0	1.0
P2	P2_c	1	1.0	1.0
C	P3	1	1.0	1.0
P4	P4_a	1	1.0	1.0


**Detener** **Diseñar**

Para los ramales que llevan a un nodo único, el factor de carga es 1, como corresponde. Para el ramal desde el tanque al nodo A con 7 sucesivas llaves, el factor de carga es 3.18. Si usted aumenta la calidad de servicio, disminuye el factor de carga. Por ejemplo, para una calidad de servicio de 0.8, usted obtiene

**Iniciar Diseño**

**Materiales** **Parámetros** **Restricciones** **Factores de carga**

**Factores de carga:**



Comienza	Termina	N°de llaves	Factor de carga predeter...	Factor de carga modifica...
R	A	7	3.93	3.93
A	B	4	2.53	2.53
A	C	3	2.06	2.06
B	P2	3	2.06	2.06
C	P4	2	1.59	1.59
B	P1	1	1.0	1.0
P2	P2_a	1	1.0	1.0
P2	P2_b	1	1.0	1.0
P2	P2_c	1	1.0	1.0
C	P3	1	1.0	1.0
P4	P4_a	1	1.0	1.0
P4	P4_b	1	1.0	1.0

**Detener** **Diseñar**

Para el ramal inicial el factor de carga bajó a 3.18.

Usted puede editar los factores de carga en forma individual para lograr diseños más convenientes para los usuarios.

## Costo de las tuberías y uniformidad de la descarga

Se hizo notar antes que, generalmente, hay conflicto entre los requisitos de costo mínimo de las tuberías, por un lado, y descarga suficientemente uniforme en las llaves, cuando el número máximo de llaves usadas es una fracción del número total disponible.

Esto se aclara cualitativamente si se comprende que la apertura o el cierre de una llave dada tendrá un efecto despreciable en el caudal que recibe una llave vecina sólo si la mayor parte de la pérdida por fricción entre el tanque y la llave abierta ocurre en el último segmento que incluye la llave. En ausencia de bombas en el sistema, esto implica que se usen tuberías con pequeñas pérdidas por fricción hasta el último segmento que incluye las llaves. Pero, en tanto las tuberías de diámetros mayores tienen menores pérdidas por fricción, ellas son más caras que los diámetros menores, de modo que este enfoque es necesariamente más caro que aquel en el que las pérdidas de presión se acumulan más gradualmente a lo largo de la red.

Usemos ahora el NeatWork con un circuito simple, llamado taptest 1 (cuya topografía se muestra en la figura) para mostrar este conflicto en forma cuantitativa.

ID	Altura	X	Y	Nº de llaves	Tipo
Tanque	0.0	0.0	0.0	0	TANQUE
N1	-12.0	0.0	0.0	0	RAMAL
N2	-18.0	0.0	0.0	0	RAMAL
N3	-15.0	0.0	0.0	0	RAMAL
N4	-22.0	0.0	0.0	0	RAMAL
N5	-32.0	0.0	0.0	0	RAMAL
N6	-15.0	0.0	0.0	0	RAMAL
N7	-22.0	0.0	0.0	0	RAMAL
P1	-7.0	0.0	0.0	1	LLAVE
P3	-10.0	0.0	0.0	3	LLAVE
P5	-22.0	0.0	0.0	5	LLAVE
P2	-34.0	0.0	0.0	2	LLAVE
P4	-10.0	0.0	0.0	4	LLAVE
P6	-7.0	0.0	0.0	1	LLAVE

Comienza	Termina	Longitud
Tanque	N1	790.0
N1	N2	350.0
N1	N3	120.0
N2	N4	160.0
N2	N5	160.0
N3	N6	810.0
N3	N7	60.0
N4	P1	740.0
N6	P3	235.0
N7	P5	342.0
N5	P2	22.0
N6	P4	12.0
N7	P6	22.0

Nuestro método es simple: sencillamente alteramos la pérdida de presión causada por las llaves (o sea, el coeficiente de las llaves), que podemos visualizar como si usáramos llaves de diferentes tipos y tamaños. El *Caudal objetivo* es generalmente 0.15 l/sec para todas las llaves. La *Calidad de Servicio* es 0.7, la máxima fracción de llaves supuestas abiertas para el diseño es 0.4. El coeficiente del orificio es 0.62. En cada caso se usaron siempre 200 o 500 simulaciones.

En los datos presentados más adelante se deben distinguir varios tipos de variaciones de caudal:

1. Variaciones de caudal en una llave dada cuando se cambia la combinación de las otras llaves abiertas, pero el número de llaves abiertas es fijo.
2. Variaciones del caudal medio entre las llaves para una combinación fija de llaves abiertas.
3. Variaciones del caudal en una llave dada cuando ella comparte el terminal con varias otras llaves y se varía el número de llaves abiertas de ese terminal.
4. Diferencia entre el caudal medio total para la fracción de diseño de llaves simultáneamente abiertas y una fracción mayor (o menor).

Note que nuestros argumentos valen para todos los tipos de variaciones, pero de modo distinto. Por ejemplo, en la tercera categoría, todas las llaves comparadas comparten exactamente el mismo circuito de tuberías. En el caso de una llave que comparte sólo una parte de sus tuberías con las otras, el cierre o apertura de éstas tendrá menos efecto en la pérdida total de presión de la llave en cuestión que el cierre o apertura de llaves vecinas en el mismo circuito

La tabla siguiente resume los resultados para el circuito Taptest para el cual la llave más alta está 7 m debajo del tanque y que tiene un número de terminales con llaves múltiples. Ninguna de las llaves está dotada de orificios. Para las columnas 2 a 6 la fracción de llaves abiertas sigue siendo 0.4

$\alpha$	2	3	4	5	6	7	8
1.83E-07	0.018	\$8,885	34%	69%	178%	0.337	0.126
6E-08	0.054	\$8,922	26%	34%	162%	0.323	0.127
1.83E-08	0.18	\$9,082	17%	20%	148%	0.307	0.130
6E-09	0.536	\$10,323	7%	7%	115%	0.238	0.134
3.5E-09	0.918	\$15,034	6%	5%	36%	0.195	0.153

Las cifras en las columnas significan

Columna

- $\alpha$  Coeficiente de pérdida de presión en la llave. (Mientras menor es su valor, mayor es la pérdida de presión.)
- 2 Pérdida en la llave para el flujo objetivo como % del diferencial mínimo de altura de la llave.
- 3 Costo de las tuberías de la red.
- 4 Raíz de la variación media cuadrática máxima del caudal en una sola llave.
- 5 Variación máxima del promedio local como % del caudal objetivo.
- 6 Diferencia entre los caudales en cada una de 5 llaves que comparten la misma tubería terminal cuando todas las llaves están abiertas y cuando sólo una está abierta, como % del caudal objetivo.
- 7 Promedio del caudal de todas las llaves cuando una sola está abierta.
- 8 Promedio del caudal de todas las llaves cuando la fracción de llaves abiertas es elevada de 0.4 a 0.6.

## Constante de la llave

Las redes de distribución corrientes deben entregar el agua con bastante presión. En comparación con esa presión las pérdidas de altura en las llaves corrientes son despreciables. Pero, en general, las redes por gravedad solas descargan a presión atmosférica en las llaves. En ese caso la pérdida de altura de la llave misma deviene un factor importante no sólo porque la altura efectiva disponible debe ser mayor que esa pérdida sino también porque tiene un efecto significativo en las variaciones de caudal de cualquier llave en particular, debido a las variaciones de combinaciones de llaves abiertas al mismo tiempo. Es por tanto importante elegir una constante de la llave que represente fielmente las pérdidas de altura propias de las llaves seleccionadas.

### Definición

Se supone que la pérdida de altura a través de una llave completamente abierta es de la forma

$$h_{\text{fau}} = \frac{\phi^2}{\alpha} \quad (1)$$

En que  $h_{\text{fau}}$  es la pérdida de altura en metros,  $\phi$  es el caudal en  $\text{m}^3/\text{seg.}$  y  $\alpha$  es un coeficiente propio de la llave cuyo valor depende tanto del tamaño como de la construcción de la llave. Por ejemplo:

Tipo	Fabricante	Tamaño nominal	$\alpha$
Globo	U.S. Standard Arrow	1/2"	1.83E-8
Globo	B&K	1/2"	1.08E-8
De bola	Desconocido	Orificio de 3/8" en fitting de tubería de 3/8"	1.31E-7

El análisis dimensional indica que para **llaves auto-similares**  $\alpha$  es de la forma:

$$\alpha = \beta \frac{R_e}{h_{\text{fau}} g} \frac{\phi^2}{d^4} \quad (2)$$

Donde  $\beta$  es un coeficiente adimensional, una función débil del número (adimensional) de Reynolds  $R_e$ , (ver Apéndice E1 para su definición),  $\phi$  es el caudal,  $h_{\text{fau}}$  es la pérdida de altura de la llave,  $d$  es su diámetro y  $g$  es la constante de gravedad. Esto implica que  $\alpha$  es aproximadamente proporcional a  $1/d^4$ .

### Determinación del coeficiente de la llave

Es muy raro que el fabricante entregue este parámetro pero existe una forma sencilla de determinar su valor aproximado.

El método es el siguiente. Se conecta un tanque de sección recta uniforme y volumen inicial de agua  $V_0$  a una tubería vertical que sale desde el fondo a la llave situada por debajo. La diferencia de elevación entre el fondo del tanque y la llave es  $h$  (se sugiere un valor entre 1 y 3 metros). El nivel inicial del agua en el tanque es  $h_0$ . Después de abrir la llave se mide el tiempo necesario para vaciar el tanque. El parámetro  $\alpha$  queda dado por la fórmula:

$$\alpha = \left( \frac{2V_0}{h_{r0}T} \right)^2 \left[ \sqrt{h_{r0} + h} - \sqrt{h} \right]^2 \quad (3)$$

Ver Apéndice E2 para la derivación de la fórmula.

### Cómo trabajar con distintos tipos de llaves

Supongamos que uno quiere instalar llaves con diferentes valores de  $\alpha$ . Dado que NeatWork sólo reconoce llaves idénticas, uno debe simular las diferentes llaves en forma indirecta. Agregue una tubería o un orificio comodín a la tubería terminal para inducir una pérdida de altura agregada. La segunda alternativa es preferible pero se puede usar sólo para modificar un diseño existente y no para crear uno nuevo. La primera alternativa es más complicada pero puede ser usada en la fase de diseño puesto que es posible agregar segmentos y fijar sus diámetros interiores en esa fase.

Discutimos ahora la primera alternativa.

1. Cree un nodo P' con la misma elevación que P.
2. Agregue un segmento de longitud  $L$  para unir P con P'.
3. Suprima la llave en P (para transformarlo en un nodo ramal) y agregue una llave en P'.
4. En la ventana *Iniciar Diseño* introduzca una restricción para el nuevo segmento (P,P'). Elija una tubería con diámetro interior  $d$ .

Ahora compute la fórmula para  $L$

$$L = \frac{1}{7.76 \cdot 10^{-4}} \left( \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_0} \right) \phi^{1/4} d^5. \quad (4)$$

Note que el segmento (P,P') es virtual. El representa la diferencia entre la llave de referencia y la llave real.

Vea el Apéndice E2 para la derivación de la fórmula (4).

### Ejemplo:

Mientras todas las demás llaves se caracterizan por una constante  $\alpha = 1.83 \cdot 10^{-8}$ , tres terminales están equipados con llaves con  $\alpha = 5 \cdot 10^{-9}$ . Entonces

$$\frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_0} = 1.454 \cdot 10^8,$$

Con un diámetro standard de  $\frac{1}{2}$ " o 0.0182 m, la fórmula para  $L$  es

$$L = 7 \cdot 10^{-6} \left( \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_0} \right) \phi^{1/4}.$$

Y si  $\phi = .00015 \text{ m}^3/\text{seg}$

$$L = 7 \cdot 10^{-6} \times 0.00015 \cdot 10^{25} \times 1.45 \cdot 10^8 \approx 113 \text{ m}.$$

### 3. Preguntas planteadas frecuentemente

**Pregunta:** No puedo alterar el caudal objetivo en el menú *Verificar rápidamente*?

**Respuesta:** Usted puede modificar directamente el caudal mínimo en la tabla pero para alterar el caudal objetivo usted debe ir a *Iniciar Diseño*, hacer clic en el menú de *parámetros*, en la reglilla, y seleccionar *Caudal objetivo*. Por eso es más lógico completar las entradas preliminares en *Diseño original* antes de ir a *Verificar rápidamente*.

**Pregunta:** Aceptando que el nivel de agua en el tanque es siempre el mínimo, según Neatwork, yo puedo querer comprobar el efecto sobre el caudal de las variaciones de ese nivel. Dado que la altura de los nodos está dada en relación al nivel del tanque, tendría que modificar todas esas alturas. Esta operación es tediosa en NeatWork y está sujeta a errores. ¿Hay alguna alternativa?

**Respuesta:** Recomendamos un desvío con Excel. Copie la lista de nodos del archivo de diseño y péguela en una planilla Excel. Edite la columna de las elevaciones, copie la tabla modificada y péguela en NeatWork. No se olvide de guardar el diseño modificado (probablemente con un nombre diferente) antes de intentar una corrida de simulación. El cambio será más fácil en futuras versiones.

**Pregunta:** Ingresé la lista de nodos y de arcos en una nueva ventana de topografía. La guardé y activé la característica "Iniciar Diseño". NeatWork computa el diseño, entrega el reportaje "Presión en los nodos y llaves" pero no crea las tablas de diseño.

**Respuesta.** Asegúrese de que no ha insertado una llave en un nodo ramal. Recuerde que sólo en los nodos terminales se pueden poner llaves.

**Pregunta:** En el diseño producido por NeatWork, a un nodo terminal se le asigna el status de "Nodo Ramal". ¿Es éste un error?

**Respuesta:** Si el nodo terminal tiene múltiples llaves, NeatWork agrega un nuevo nodo por cada llave en ese terminal, los vincula al nodo terminal original y transforma a éste en un nodo ramal.

**Pregunta:** Mi corresponsal me envió un archivo de diseño en formato html. ¿Cómo puedo crear el archivo de diseño en NeatWork para correr las simulaciones?

\* **Respuesta:** Abra el archivo de simulación con Excel. Antes debe editar el archivo para hacerlo compatible con NeatWork.

- En la "Lista de Nodos", convierta "Tanque" en 0, "Nodo Ramal" en 1, y "Nodo Llave" en 2.

Cuando haya completado la operación verifique que el "Base de datos de diámetros" de su corresponsal es el mismo que el suyo. De lo contrario modifique el suyo como sigue.

- Haga una copia de respaldo de sus bases de datos propias.



- En la planilla Excel asegúrese que la tabla de “Diámetros de referencias” está ordenada siguiendo valores crecientes en la columna “ID”. (En caso contrario use “Ordenar” para ordenar la tabla.)
- Copie las columnas “Nominal” a “Fricción” de la planilla Excel de “Diámetros de referencias”.
- Active el menú “Editar base de datos” y la lengüeta “Diámetros” en NeatWork y pegue el tablero con el botón apropiado.
- Haga lo mismo con la tabla de orificios.

Abra ahora un diseño existente. Use el menú “Guardar como”, guarde el diseño con el nombre apropiado y en la localización adecuada.

- Seleccione la “Lista de segmentos” y complete haciendo clic en la primera y la última columnas mientras mantiene presionada la tecla de mayúsculas.
- Use el botón “Eliminar” para borrar los datos. Valídelo.
- Haga lo mismo con la “Lista de nodos”. Valídelo.
- Copie la lista de nodos editada en Excel y péguela de vuelta en NeatWork. Valídela.
- Copie la “Arc List” editada en Excel y péguela de vuelta en NeatWork. Valídela.
- Guarde su diseño.

## E – Apéndice Técnico

### 1. Tuberías

#### Fórmulas de fricción para tuberías en redes de distribución.

La expresión relevante para los cálculos de pérdidas por roce en NeatWork es

$$h_f/L$$

que es la pérdida por unidad de longitud de tubería para todas las tuberías usadas.

Esta expresión se relaciona con las otras tres que se indican:

$$\frac{h_f}{L} = 0.0826 f \frac{\phi^2}{d^5} \quad \text{E1-1}$$

En que  $\phi$ , el caudal, está expresado en m<sup>3</sup>/seg. y  $d$ , es el diámetro de la tubería, en metros. La constante numérica tiene unidades de aceleración, (m/seg<sup>2</sup>). El parámetro  $f$  es adimensional y es función de otros dos parámetros adimensionales, el número de Reynolds  $R_e$  y la razón  $\varepsilon/d$  entre la rugosidad aparente de la pared de la tubería al diámetro de ésta. El número de Reynolds puede ser expresado como

$$R_e = 10^6 a \frac{\phi}{d}. \quad \text{E1-2}$$

Es una propiedad del fluido (una versión adimensional de su viscosidad). Cuando se ha especificado el fluido la constante  $a$  depende sólo de su temperatura. Se dan algunos valores de  $a$  para el caso del agua:

T°C	2	5	10	15	20	25	30	35	40
$a$	0.78	0.85	0.98	1.12	1.27	1.42	1.59	1.77	1.95

La fórmula aproximada para  $a$  (con  $T$  en grados Centígrados) es:

$$a = 1.267 \frac{293}{(T + 273)^{8.98}} \exp \left\{ -4700 \left( \frac{1}{T + 273} - \frac{1}{293} \right) \right\}. \quad \text{E1-3}$$

**Nota:** Para una región en particular (digamos Nepal, o Nicaragua) **basta usar un solo valor de  $a$ .**

El parámetro  $f$  es una función complicada del número de Reynolds  $R_e$  (ver más adelante), y de la llamada rugosidad equivalente  $\varepsilon/d$ .  $f$  tiene sólo un fundamento empírico. Para simplificar el asunto, el efecto de la rugosidad es considerado sólo función del diámetro de la tubería y de la naturaleza de la pared de la misma. Por otro lado, es difícil caracterizar y cuantificar la rugosidad, y si la tubería puede corroerse y calcificarse, la rugosidad varía en el tiempo. De este modo la elección de un valor  $\varepsilon/d$  para una tubería en particular es bastante subjetiva. Por eso se le debe dar al usuario del programa la posibilidad de elegir el valor  $\varepsilon$  para una pared de tubería dada. Pero ello también implica que si  $f$  depende de manera significativa de  $\varepsilon/d$ , su valor es discutible.

La forma de  $f$  que es aceptada generalmente como adecuada a los datos experimentales y conocida como fórmula de Colebrook (sintetizada en el diagrama de Moody) es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left( \frac{1}{3.7} \frac{\epsilon}{d} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right). \quad \text{E1-4}$$

Todas las otras representaciones de  $f$  deben entenderse como aproximaciones a (E1-4). En otras palabras (A1-4) debe servir como referencia. El hecho de que (E1-4) sea una fórmula implícita no es un obstáculo importante para su computación, especialmente porque se cuenta al menos con una buena primera aproximación explícita.

Por otro lado el uso directo de (E1-4) en Neatwork plantea problemas porque en lugar de satisfacer las ecuaciones de pérdida de presión para cada segmento nosotros usamos el principio equivalente de minimizar la energía, lo que requiere hacer explícita la integral de esta ecuación. Pero (E1-4) no es integrable en forma explícita. Por ello hemos aproximado (E1-4) mediante otras funciones que son fácilmente integrables. Así,

$$f = A(\epsilon/d) R_e^{B(\epsilon/d)}. \quad \text{E1-5}$$

Note que el exponente de  $R_e$  no depende del caudal  $\phi$ . A cada valor de  $\epsilon/d$  le corresponde un solo par de valores de  $A$  y  $B$ . Éstos han sido elegidos de modo de minimizar el error hecho al sustituir (4) en (3) en el rango del número de Reynolds que es de interés para pequeños sistemas de distribución de agua potable ( $5000 < R_e < 500,000$ , en general, pero el rango se restringe todavía más para cada diámetro de tuberías). Las desviaciones máximas de (3) no exceden de 7%, lo que implica menos de 3.5% para los caudales en cualquier segmento de tubería. Las desviaciones típicas son todavía menos importantes para el caso de tuberías lisas.

Combinando todo lo anterior, obtenemos:

$$\frac{h_f}{L} = 0.08626 A \frac{(a10^6)^B \phi^{2+B}}{d^{5+B}} \quad \text{E1-6}$$

De modo que para una tubería de diámetro y propiedades de la pared dadas y, además, a una temperatura del agua dada (aproximadamente), se obtiene:

$$\frac{h_f}{L} = C \phi^{2+B(\epsilon/d)} \quad \text{E1-7}$$

donde

$$C = 0.08626 A(\epsilon/d) \frac{(a10^6)^{B(\epsilon/d)}}{d^{5+B(\epsilon/d)}}. \quad \text{E1-8}$$

Los valores de  $A$  y  $B$  están dados por

$e/d$	$B$	$A$		$e/d$	$B$	$A$
0.0000	-0.2180	0.2350		0.0042	-0.0830	0.0800
0.0001	-0.2100	0.2200		0.0045	-0.0805	0.0795
0.0005	-0.1780	0.1680		0.0048	-0.0782	0.0786
0.0010	-0.1430	0.1220		0.0051	-0.0760	0.0782
0.0012	-0.1350	0.1140		0.0060	-0.0715	0.0780
0.0018	-0.1140	0.0960		0.0062	-0.0705	0.0785
0.0020	-0.1085	0.0920		0.0080	-0.0630	0.0766
0.0023	-0.1032	0.0890		0.0085	-0.0608	0.0760
0.0024	-0.1015	0.0880		0.0100	-0.0565	0.0750
0.0028	-0.0958	0.0855		0.0104	-0.0550	0.0747
0.0030	-0.0942	0.0845		0.0150	-0.0420	0.0730
0.0034	-0.0903	0.0832		0.0200	-0.0350	0.0740
0.0036	-0.0885	0.0828		0.0400	-0.0270	0.0910
0.0040	-0.0850	0.0815				

Con estos valores se pueden usar fórmulas de interpolación lineal que resultan adecuadas para calcular  $A$  y  $B$  para cualquier valor de  $e/d$  dentro del rango considerado. Esto es lo que hace Neatwork.

Para tuberías lisas como las de PVC, los factores de rugosidad son muy pequeños y aumentan sólo moderadamente en el tiempo (los depósitos de calcio tienden a dejar líneas o venas que afectan poco la rugosidad efectiva). Por esa razón, aunque uno podría deducir los valores de  $A$  y  $B$  a partir de los datos anteriores (con  $e$  variando desde .0015mm a .0025mm), también es posible simplificar los cálculos de fricción eligiendo una curva compuesta. El efecto de la rugosidad es mínimo para el caso del PVC; por otro lado, tanto en las líneas de aducción como en las redes de distribución hay un uso abundante de codos, té, y piezas de expansión y contracción. Dado que los valores de fricción son mucho mejor conocidos para las tuberías lisas que para las rugosas, es lógico en tal caso agregar las correcciones correspondientes a las llamadas pérdidas menores (o singulares). Así los valores elegidos para  $A$  y  $B$ , en el caso de PVC toman en cuenta las pérdidas menores (globalmente) y resultan en pérdidas por fricción aproximadamente 4.5% por sobre las de tuberías lisas (sin pérdidas menores), de acuerdo a la fórmula de Colebrook, hasta un número de Reynolds cercano a 200,000 (y una corrección adicional decreciente para números de Reynolds mayores). Los valores son

$$A = 0.235 \text{ y } B = -0.219.$$

El resultado final para tuberías de PVC con agua como fluido:

$$\begin{aligned} \frac{h_f}{L} &= \beta \frac{\phi^{1.781}}{d^{4.781}} \\ \phi &= \left(\frac{1}{\beta}\right)^{0.5615} d^{2.684} \left(\frac{h_f}{L}\right)^{0.5615}. \end{aligned} \quad \text{E1-9}$$

En esta fórmula

$$\beta = 9.42 \cdot 10^{-4} a^{-0.219}. \quad \text{E1-10}$$

## Notas

La mayoría de las fórmulas alternativas para la fricción en las tuberías son menos exactas que las anteriores. Entre las más conocidas, además de la de Colebrook, sólo la aproximación de Blasius,

$$f = \frac{0.3164}{R_e^{0.25}} \quad \text{E1-11}$$

(para tuberías lisas y  $R_e < 100,00$ ) y la aproximación de Swamee-Jain consideran explícitamente en número de Reynolds. Esto significa no sólo que las otras fórmulas deben usarse sólo para el agua, sino que, además, ignoran las variaciones de temperatura (lo que, por ejemplo, entre Nepal y Nicaragua implica aproximadamente un 14% de variaciones en las pérdidas de altura para tuberías lisas). Su ajuste a los datos de Moody requiere además la elección ad hoc de una constante desechable. Por otra parte, la fórmula de Swamee-Jain,

$$f = \frac{1.325}{\log \left( \frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}} \right)^2} \quad \text{E-12}$$

Que es explícita, es algo mejor que nuestras propias aproximaciones pero tampoco se deja integrar fácilmente, de modo que es complicada de incorporar al programa. Es sin embargo útil como primera aproximación en la evaluación de  $f$  mediante la fórmula de Colebrook, y sirve para fines de comparación.

## En Síntesis:

NeatWork no ofrece la posibilidad de elegir fórmulas alternativas para el cálculo de las pérdidas por fricción porque se considera que no se gana nada con esta posibilidad. Para las tuberías lisas estas pérdidas tienen una sólida base empírica y para las tuberías rugosas las formulaciones alternativas sirven sólo para ocultar una indeterminación física.

## 2. Llaves

### Introducción y definición

Las redes de distribución habituales deben entregar agua con presión considerable. En comparación con esa presión las pérdidas de altura a través de las llaves corrientes mismas son despreciables. Pero las redes gravitacionales simples alimentan agua a través de llaves que normalmente descargan a presión atmosférica. En tal caso la pérdida de carga a través de la llave es un factor importante no sólo porque la carga neta disponible debe ser superior a esa pérdida sino porque ella tiene un efecto significativo en la variación del caudal de una llave cualquiera debido a los cambios en las combinaciones posibles de otras llaves abiertas al mismo tiempo. Es por tanto importante elegir una constante de la llave que represente fielmente la pérdida de altura provocada en la llave seleccionada.

La pérdida de altura a través de una llave completamente abierta es de la forma

$$h_{\text{fau}} = \frac{\phi^2}{\alpha} \quad \text{E2-1}$$

En que  $h_{\text{fau}}$  es la pérdida de altura en metros,  $\phi$  es el caudal en  $\text{m}^3/\text{seg.}$  y  $\alpha$  es un coeficiente de la llave cuyo valor depende tanto del tamaño como del tipo de llave. Por ejemplo:

Tipo	Fabricante	Tamaño nominal	$\alpha$
Globo	U.S. Standard Arrow	$\frac{1}{2}$ "	1.83E-8
Globo	B&K	$\frac{1}{2}$ "	1.08E-8
De bola	Desconocido	Orificio de $\frac{3}{8}$ " en fitting de tubería de $\frac{3}{8}$ "	1.31E-7

Del análisis dimensional se deduce que para **llaves auto-similares**  $\alpha$  es de la forma:

$$\alpha = \frac{\beta(R_e)\phi^2}{gh_{\text{fau}}d^5} \quad \text{E2-2}$$

Donde  $\beta$  es un coeficiente adimensional, que es una función débil del número (adimensional) de Reynolds  $R_e$ , (ver el Apéndice E1 para su definición),  $\phi$  es el caudal,  $h_{\text{fau}}$  es la pérdida de altura en la llave,  $d$  su diámetro y  $g$  es la constante de gravedad. Esto implica que  $\alpha$  debiera ser aproximadamente proporcional a  $1/d^4$ .

## Fórmula para determinar el coeficiente de la llave

El desarrollo de la fórmula es el siguiente. En el instante  $t$ , el volumen en el tanque y el nivel de agua son  $V(t)$  y  $h(t)$ , respectivamente. El caudal en la llave es  $\phi(t)$ . La dinámica o ecuación de continuidad está dada por

$$\frac{dV(t)}{dt} = \frac{V_0}{h_{r0}} \frac{dh_r(t)}{dt} = -\phi(t).$$

Por otro lado, si se desprecian las pérdidas por roce en la tubería, el caudal a través de la llave satisface:

$$\frac{1}{\alpha} \phi(t)^2 = h_r(t) + h.$$

De modo que

$$\frac{dh_r(t)}{\sqrt{h_r(t) + h}} = -\frac{\sqrt{\alpha} h_{r0}}{V_0} dt.$$

La fórmula para  $\alpha$

$$\alpha = \left( \frac{2V_0}{h_{r0}T} \right)^2 \left[ \sqrt{h_{r0} + h} - \sqrt{h} \right]^2 \quad \text{E2-3}$$

Se obtiene por integración directa con las condiciones de borde:

$$t = 0, \quad h_r(0) = h_{r0}$$

$$t = T, \quad h_r(T) = 0.$$

Esta fórmula desprecia tanto la pérdida por fricción en el tubo ó tubería de descarga como la altura dinámica a la salida de la llave. El error en el valor de  $1/\alpha$  debido a la pérdida por viscosidad en la tubería está dado en la tabla siguiente, para diversas longitudes y diámetros de tubería:

error en $1/\alpha$ por pérdida por viscosidad en la tubería				
Longitud de la tubería l	diámetro	0.0183	0.0235	0.0304
	0.75	2490000	715000	197000
	1	3330000	954000	263000
	1.5	4990000	1430000	395000
	2	6660000	1900000	526000

Dado que un valor típico para  $1/\alpha$  es  $10^8$ , vemos que la contribución de la tubería a  $1/\alpha$  no es muy importante.

El error por ignorar la pérdida dinámica a la salida de la tubería es del mismo orden de magnitud, de modo que ambos son despreciables si la tubería de descarga no es menor que  $\frac{1}{2}$ ".

## Desarrollo de la fórmula para diversas características de las llaves

Recordemos rápidamente el procedimiento. Sea  $\alpha_0$  la constante correspondiente a la menor pérdida en la llave (esto es la mayor de las constantes), y sea  $\alpha_1$  cualquier otra constante. Sea P un nodo terminal equipado con una llave cuya constante es  $\alpha_1$ . La idea es introducir un segmento de largo  $L$  y diámetro interior  $d$  entre P y la llave. Dado que el objetivo es encontrar la pérdida en la llave, uno puede elegir el diámetro interior como el más pequeño disponible y ajustar  $L$  en consecuencia.

La pérdida de altura para la segunda llave es

$$h_{\text{fa}} = \frac{\phi^2}{\alpha_1} = \frac{\phi^2}{\alpha_0} + h_s, \quad \text{E2.4}$$

Donde  $h_s$  es la pérdida de altura en la llave 1 por encima de aquella en la llave 0. De modo que  $h_s = \frac{\phi^2}{\alpha_0} - \frac{\phi^2}{\alpha_1}$ . Si esta pérdida es supuesta como debida a un largo de tubería, entonces

$$h_s = 0.0826 f L \frac{\phi^2}{d^5} = 7.76 \cdot 10^{-4} L \phi^{7/4} \quad \text{E2-5}$$

De acuerdo a la ley de fricción de Blasius (ver Apéndice). Igualando las dos expresiones, se obtiene (4).

$$L = \frac{1}{7.76 \cdot 10^{-4}} \left( \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_0} \right) \phi^{1/4} d^5.$$

### 3. Orificios

Neatwork llama orificio a un diafragma plástico perforado que se inserta, aguas arriba de una llave, en una tubería o en una unión (cuyo diámetro es generalmente de ½ pulgada nominal). La perforación es un agujero en el centro del diafragma. Normalmente, la pérdida de altura a través de una obstrucción tal depende del número de Reynolds aguas arriba si la perforación excede el 30%, aproximadamente, del diámetro de la tubería. Pero los orificios usados tienen casi siempre diámetros del agujero menores, de modo que es aceptable considerar la pérdida de altura sólo como función del diámetro del agujero y del caudal. Usamos la sencilla expresión:

$$\delta h = -\theta \frac{\phi^2}{d^4} \quad \text{E3-1}$$

En que  $-(\delta h)$  es la pérdida de altura a través del orificio,  $\phi$  es el caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$  y  $d$  el diámetro del orificio en metros. El valor de  $\theta$  es dejado a la elección del diseñador. Nuestra mejor estimación habitual es  $\theta = 0.62$ .

Note que el diámetro de la perforación es una cantidad más crítica; es difícil de determinar con suficiente precisión y no es fácilmente reproducible cuando los orificios se perforan con taladro.

Dos orificios se pueden combinar para lograr una mayor pérdida de altura. Se puede verificar que dos orificios, con diámetros respectivos  $d_1$  y  $d_2$ , puestos en serie, dan la misma pérdida que un solo orificio con diámetro:

$$d_e = \frac{d_2}{\left[1 + \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4\right]^{1/4}} \quad \text{E3-2}$$

Mientras que el diámetro de un solo orificio equivalente a  $n$  orificios idénticos de diámetro  $d$  en serie está dado por

$$d_e = \frac{d}{n^{1/4}} \quad \text{E3-3}$$

Tales orificios debieran ser espaciados al menos en 5 diámetros de tubería.

La tabla siguiente muestra los diámetros de un orificio solo equivalente a dos orificios

		Orificio 2				
		0.0020	0.0030	0.0040	0.0050	0.0060
Orificio 1	0.0020	0.0017	0.0019	0.0020	0.0020	0.0020
	0.0030	0.0019	0.0025	0.0028	0.0029	0.0030
	0.0040	0.0020	0.0028	0.0034	0.0037	0.0038
	0.0050	0.0020	0.0029	0.0037	0.0042	0.0045
	0.0060	0.0020	0.0030	0.0038	0.0045	0.0050

Se ve que combinar dos orificios de diámetros muy diferentes no vale la pena: el diámetro del orificio equivalente es casi el mismo que el menor de los dos diámetros.

Por otra parte, si los diámetros de  $n$  orificios en serie son idénticos, a medida que  $n$  crece se reduce menos y menos el diámetro equivalente.



## 4. Simulación de caudales

El caudal estacionario en una red obedece la ley de mínima energía. Y dado que hablamos de cantidades dinámicas, la mínima energía debe ser entendida como energía por unidad de tiempo. El problema de minimizar una función (en este caso, la energía total por unidad de tiempo), sujeta a restricciones (en este caso, la conservación del caudal o la masa) es un problema de programación matemática. La energía total resulta ser una función convexa del caudal, lo que es una característica importante y conveniente que puede ser explotada por algoritmos poderosos. Presentamos brevemente el problema de programación matemática. Para ello, necesitamos algunas notaciones.

La red es representada por un grafo  $G = (N, A)$ , en que  $N$  es el conjunto de los nodos y  $A$  el conjunto de los arcos. El grafo está orientado; esto es, un arco  $(i, j)$  en  $A$  tiene su origen en el nodo  $i$  y su extremo en el nodo  $j$ . El conjunto de los nodos está compartido en  $N_s$ ,  $N_b$  y  $N_f$ , en que

- $N_s$  es el conjunto de los nodos fuente<sup>2</sup>,
- $N_b$  es el conjunto de los nodos de tránsito o ramales,
- $N_f$  es el conjunto de los nodos sumidero (llaves).

El grafo no es necesariamente un árbol; puede contener circuitos en anillo.

Los caudales en los arcos se denotan por la variable con subíndice doble  $\phi_{ij}$ . Un caudal positivo corresponde a un caudal desde el origen  $i$  al extremo  $j$ . Un caudal negativo corresponde a un caudal desde el extremo  $j$  al origen  $i$ .

La energía disipada es una función no-lineal de los caudales. Se presenta en las siguientes formas

1. Fricción en las tuberías. La representación matemática es

$$E_p(i, j) = \gamma_{ij} \frac{|\phi_{ij}|^{p+1}}{p+1}$$

donde los coeficientes  $\gamma$  y  $p$  vienen dados por la fórmula (E1-7)

$$\gamma_{ij} = L_{ij} C_{ij} \quad \text{and} \quad p = 2 + B(\epsilon/d).$$

2. Fricción en las llaves y orificios. La suma de las disipaciones de energía resultantes puede ser representada por la fórmula

$$E_f(j) = \eta_j \frac{|\phi_{ij}|^3}{3}$$

en que  $j$  es un nodo terminal equipado con una llave e  $(i, j)$  es el arco que lleva a este nodo terminal.

3. Energía potencial. Se aplica a los caudales en el nodo terminal  $j$ , de acuerdo a la fórmula

$$E_h(j) = h_j \phi_{ij}$$

en que  $h_j < 0$  es la elevación del nodo. (en el nodo fuente existe un término similar, pero la elevación ahí es cero.)

La energía total que debe ser mínima es entonces

---

<sup>2</sup> La formulación permite múltiples fuentes, pero esta posibilidad no está disponible en NeatWork.

$$E(\phi) = \sum_{(i,j) \in A} E_p(i,j) + \sum_{\substack{j \in N_f \\ (i,j) \in A}} E_f(i,j) + \sum_{j \in N_f} E_h(j).$$

el mínimo de  $E$  está restringido por la ley de conservación de masas (en este caso, caudales) y por la condición de caudales no negativos en las llaves. De modo que para todo nodo no-terminal vale

$$\sum_{(i,j) \in A} \phi_{ij} = \sum_{(j,i) \in A} \phi_{ji}, \quad \forall j \in N_b$$

y para cada nodo terminal

$$\phi_{ij} \geq 0, \quad \forall j \in N_f.$$

El problema es convexo. Mosek, un programa comercial de optimización “estado-del-arte” para programación convexa, lo resuelve.

Para los lectores familiarizados con la teoría de la programación matemática, agregamos que las condiciones de optimalidad de primer orden para el problema de minimización de energía se reducen a la condición standard que, a lo largo de cada trayectoria desde la fuente a cada llave, la pérdida de altura total sea idéntica al cambio de elevación. De este modo, la formulación de minimización es la versión integral de la condición familiar de caudales en una red.

## 5. Diseño óptimo

El módulo de diseño óptimo maneja las redes llamadas “árboles”, esto es, redes sin circuitos en anillos. En tal caso, los caudales requeridos a lo largo de arcos intermedios están determinados por los caudales especificados en los nodos terminales. El problema de diseño es encontrar las tuberías que deben ser usadas para lograr las pérdidas de altura asociadas con los caudales dados. Dado que la elección de tuberías está restringida al conjunto finito de tuberías disponibles en el comercio, el problema se reduce a determinar las longitudes de las diversas tuberías a usar en cada arco. Y puesto que la pérdida de altura es proporcional a la longitud de la tubería, todo el problema es lineal, y pertenece a la categoría de problemas fácilmente manejables pro programación lineal. Este módulo también se apoya en Mosek.